VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

Е. А. Бойко
И. С. Деринг
Т. И. Охорзина

КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И ПАРОГЕНЕРАТОРЫ

(Выбор и расчет систем пылеприготовления и горелочных устройств котельных агрегатов)

Красноярск
2006

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
Красноярский государственный технический университет

Е. А. Бойко
И. С. Деринг
Т. И. Охорзина

КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И ПАРОГЕНЕРАТОРЫ

(Выбор и расчет систем пылеприготовления и горелочных устройств котельных агрегатов)

Учебное пособие

Красноярск 2006

© Бойко Е.А. *Выбор и расчет систем пылеприготовления и горелочных устройств котельных агрегатов*

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В последние 20–30 лет произошли серьезные изменения в технике подготовки твердого топлива к сжиганию, введены крупные энергоблоки для работы на твердом топливе и одновременно наблюдается тенденция ухудшения качества твердого топлива, поставляемого на тепловые электростанции.

Подготовка твердого топлива к пылевидному сжиганию включает в себя процессы его очистки от посторонних примесей, предварительного дробления, сушки и измельчения. В прямой связи с ними находятся процессы истечения топлива или готовой пыли из бункеров, а также дозирования топлива в топки котлов. Выбор оборудования, обеспечивающего эффективное, надежное протекание всех этих процессов, находится в зависимости от основных характеристик твердых топлив – сыпучести или склонности к налипанию; влажности, засоренности твердыми природными включениями, а также металлом и древесиной; сопротивляемости измельчению; абразивности; содержания летучих горючих веществ, определяющих требуемую глубину измельчения топлива [1].

Применение новых элементов и схем пылеприготовления требует более детальной увязки режима работы пылеприготовительного и топочного оборудования. При этом необходимо кроме увязки суммарной размольной и сушильной производительности мельниц и определения необходимого резерва учитывать удобство управления системами пылеприготовления и горелками, а также возможность устранения режимов, приводящих к снижению экономичности и увеличению вредных выбросов котельного агрегата по условию работы мельничных устройств.

При эксплуатации пылеприготовительных установок большое внимание уделяется повышению надежности. Грамотный инженерный подход к решению вопросов повышения надежности всех элементов системы подготовки топлива к сжиганию и доведения коэффициента технического использования всей установки до уровня лучших электростанций может повысить эффективность топливоиспользования, существенно снизить затраты труда и материалов на ремонтное обслуживание пылеприготовительного оборудования.

К принципиальным моментам проектирования котлов, работающих на твердом органическом топливе, следует отнести выбор типа горелочных устройств и их компоновки в топочной камере котла.

Подготовка квалифицированных инженеров-теплоэнергетиков в высших учебных заведениях обуславливает необходимость овладения методами расчета углеразмольных и горелочных устройств паровых котлов.

Учебная работа студентов над проектными работами связана с необходимостью использования в процессе расчетов кроме нормативных данных также рекомендации по выбору ряда исходных значений, последовательно-

сти выполнения вычислений и пояснениям к ним. В этом заключается принципиальное отличие учебно-методических указаний при расчете и проектировании пылеприготовительных установок котельных агрегатов для студентов от Нормативных материалов [2], содержащих в сжатом виде строгую последовательность расчета и необходимые расчетные формулы.

Основная часть настоящих методических указаний содержит методику выбора и расчета углеразмольных и горелочных устройств котельных агрегатов электростанций средней и большой паропроизводительности, сжигающих твердое органическое топливо в пылевидном состоянии.

Методические указания составлены на основе Нормативных материалов по расчету и проектированию пылеприготовительных установок и горелочных устройств, разработанных коллективом авторов ведущих научно-исследовательских институтов и энергетических предприятий (ВТИ, НПО ЦКТИ, ОРГРЭС, ТЭП, ТКЗ, ЗиО и БКЗ и т.д.). Нормативные материалы согласованы с «Нормами технологического проектирования электростанций», «Правилами взрывобезопасности установок для приготовления и сжигания топлива в пылевидном состоянии», «Правилами технической эксплуатации электростанций» и «Нормативным методом расчета котельного агрегата».

В настоящих методических указаниях приводятся данные для расчета и проектирования пылеприготовительных установок и горелочных устройств к котельным агрегатам до 1200 МВт. Используется Международная система единиц (СИ).

Методические указания рассчитаны на студентов теплоэнергетических специальностей энергетических и технических вузов, а также могут быть использованы работниками проектных и конструкторских организаций.

© Бойко Е.А. *Выбор и расчет систем пылеприготовления и горелочных устройств котельных агрегатов*

1. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ СУШИЛЬНО-МЕЛЬНИЧНОЙ СИСТЕМЫ

1.1. Выбор сушильного агента и его температуры

Количество тепла, вносимого в сушильно-мельничную систему, должно обеспечивать сушку топлива с рабочей влажности топлива ($W^{р}$, %) до заданной влажности пыли $W^{пл}$ (табл. 1) и выдерживать рекомендуемую температуру пылегазовоздушной смеси на выходе из мельницы (табл. 2).

Выбор сушильного агента зависит от двух факторов: влажности топлива и выхода летучих [2].

С увеличением выхода летучих веществ повышается взрывоопасность пылевоздушной системы. Реальная опасность взрыва возникает при размоле углей с выходом летучих более 25%. Устранить опасность взрыва можно снижением содержания кислорода в сушильном агенте до 17%. Это достигается добавкой в сушильный агент продуктов сгорания.

Дымовые газы для этой цели могут отбираться из верхней части топки (при температуре 900–1000 °С) либо можно использовать уходящие газы (обычно после дымососа при температуре 130–150 °С).

Чем выше влажность топлива, тем больше требуется тепла для испарения влаги. При воздушной сушке и влажном топливе тепла, содержащегося в горячем воздухе, может оказаться недостаточно для испарения влаги. Тогда при любом выходе летучих потребуется добавка в сушильный агент горячих газов.

Из вышеизложенного вытекают следующие рекомендации.

1. По условиям сушки при влажности топлива $W^{р} < 25$ % и $V^{г} \le 25$ % следует применять воздушную сушку. Для топлив с выходом летучих $V^{г} >$ 25 % необходим переход на газовоздушную сушку (по условиям взрывоопасности).

2. При большой влажности топлива ($W^{р} \ge 40$ %) рекомендуется применять газовую сушку.

3. Для топлив влажностью $W^{р}$ = 25–40 % рекомендуется сушка смесью воздуха с газами.

При воздушной сушке известным является количество сушильного агента (оно равно количеству первичного воздуха). В этом случае по тепловому балансу сушильно-мельничной системы определяется его температура. Если полученное значение будет ниже принятой температуры подогрева воздуха, то необходимая температура на входе в сушильно-мельничную систему достигается смешиванием горячего воздуха с холодным, добавляемым из окружающей среды.

Таблица 1

Некоторые характеристики исходного топлива и угольной пыли

Бассейн, месторождение	Марка топлива	Влажность пыли, $W^{пл}$, %	Приведенные		Коэффициент размолоспособности, $K_{ло}$	Рекомендуемая тонкость помола, R_{90}
			Влажность $W^{п}$, %·кг/МДж	Зольность $A^{п}$, %·кг/МДж		
1	2	3	4		5	6
Уголь						
Донецкий	Д	2–3,5	2,78	4,65	1,28	20–22
Донецкий	Г	1,5–3,0	1,82	4,37	1,25	25–33
Донецкий	Т	0,5–1,0	0,87	4,11	1,8	10–13
Донецкий	АШ	0,5–1,0	1,58	4,24	0,95	7
Кузнецкий	Д	3,5–4	2,2	2,49	1,1	22–25
Кузнецкий	Г	1,5–3	1,36	1,76	1,3	25–33
Томь–Усинский	1ОС	3,5–5	2,22	3,51	1,45	17–20
Кузнецкий	1ОС	1,8–3,5	1,58	3,2	1,6	17–20
Краснобродский	Т	2–4	1,69	2,75	1,4	11–14
Карагандинский	К	0,8–2,0	2,58	9,97	1,4	18–20
Экибастузский	СС	1,3–3,0	1,79	10,47	1,29	15–25
Ленгеровский	Б3	10–15	12,85	10,12	1,8	53
Подмосковный	Б2	11–16	13,96	13,06	1,8	55–60
Воркутинский	Ж	0,9–2,0	2,52	5,81	1,5	21–26
Интинский	Д	3,5–5	1,9	3,77	1,4	25–33
Волынский	Г	2,0–3,5	1,55	5,01	1,2	24–32
Кизеловский	Г	0,8–1,5	1,28	6,6	1,0	26
Челябинский	Б3	4,5–11,0	5,4	8,86	1,2	55–60
Егоршинский	ПА	0,5–1,0	1,5	4,47	1,5	9–1
Богословский	Б3	9,5–14	9,24	13,95	1,2	55–60
Ткварчельский	К	0,8–2,5	2,87	8,75	1,6	22–30
Ангренский	Б2	11–17	10,45	3,97	2,1	50
Кок–Янгакский	Д	3–4	2,04	3,48	1,35	23–30
Кызыл–Кийский	Б3	10–15	7,43	2,82	2,0	50
Сулюктинский	Б3	5–12	5,14	3,12	1,3	50
Ирша–Бородинский	Б2	12–16	8,82	2,34	1,2	55–60
Назаровский	Б2	13–12	12,5	2,34	1,1	55–60
Березовский	Б2	12–15	8,83	1,25	1,3	55–60
Итатский	Б1	12–14	13,23	2,22	1,4	55–60
Барандатский	Б2	11–12	10,45	1,24	1,4	55–60
Черногорский	Д	6–8	2,78	3,08	1,0	25
Черемховский	Д	2,5–4,5	3,04	6,32	1,3	28–40
Азейский	Б3	5,5–14	6,04	3,08	1,12	55–60
Гусино–Озёрский	Б3	6–13	6,01	4,3	1,09	55–60
Баянгольский	Д	5–8	5,34	3,57	1,1	28–33

Окончание табл. 1

1	2	3	4		5	6
Букачачинский	Г	2–4	1,25	1,44	1,2	25–34
Черновский	Б2	11–16	9,69	3,79	1,25	55
Харанорский	Б1	10–13	13,6	2,83	1,38	55–60
Райчихинский	Б2	12–19	12,33	3,09	1,3	55–60
Ургальский	Г	1,3–2,5	1,57	6,18	1,05	25–28
Липовецкий	Д	2–4	1,38	7,76	1,5	25–30
Сучанский	Ж	1,0–2,0	1,19	7,31	1,5	25–28
Сучанский	Т	0,5–1,0	1,12	6,56	1,4	14–16
Артемовский	Б3	9–12	7,55	7,64	1,3	55–60
Тавричанский	Б3	0,9–2,5	3,43	6,10	1,3	55–60
Бикинский	Б2	1,5–5	17,2	10,23	1,35	45–50
Сангарский	Д	2–3,5	1,73	2,33	1,1	30–40
Чульмаканский	Ж	1,0–2,0	1,35	4,16	1,2	25–30
Верхне–Аркагалинский	Д	6–9	4 – 3	2,94	1,0	26
Анадырский	Б3	5,5–7,5	4,58	2,6	1,0	30

Таблица 2

Рекомендуемые значения температуры
на выходе из сушильно-мельничной системы $t_{2м}$ (°С)

Топливо	Сушка горячим воздухом, °С	Сушка смесью дымовых газов с воздухом, °С	Сушка дымовыми газами, °С
Установка с прямым вдуванием			
Тощий, экибастузский уголь	160	–	–
Другие каменные угли	130	170	170
Бурые угли и сланцы	100	140	140
Фрезерный торф	60	120	140
Установки с промежуточным пылевым бункером			
Тощие угли	130	–	–
Экибастузские угли	110	–	–
Другие каменные угли	70	80	80
Бурые угли	70	80	100
Антрацит и полуантрацит	не ограничивается	–	–

Если полученная расчетом температура окажется выше принятой температуры подогрева воздуха, следует перейти на газовоздушную сушку с добавлением горячих газов из верхней части топки.

При газовоздушной сушке количество воздуха, подаваемого для сушки, должно быть равно количеству первичного. Далее возможны два варианта.

1. Влажные бурые угли ($W^{р}$ = 25–40 %). В этом случае требуется большое количество тепла на испарение влаги. В расчет принимаются как известные температура горячего воздуха и температура газов рециркуляции (900–1000 °С).

© Бойко Е.А. *Выбор и расчет систем пылеприготовления и горелочных устройств котельных агрегатов*

Из теплового баланса определяется количеством помешиваемых газов.

2. Каменные угли с большим выходом летучих ($V^г$ > 25 %). В этом случае, как правило, требуется мало тепла на испарение влаги. Количество подмешиваемых газов подсчитывается из условий взрывоопасности (расчет приведен ниже). Для сушки забираются уходящие дымовые газы (температура уходящих газов задана).

Из теплового баланса находится температура воздуха, подаваемого на сушку.

При чисто газовой сушке газы забираются из верхней части топки (900–1000 °С). С такой высокой температурой газы в мельницу поступать не могут. Предполагается, что в этом случае применяется предвключенное сушильное устройство, в котором температура газов будет снижена до допустимой величины. В задачу данной работы не входит отдельный расчет сушильной установки. Составляется тепловой баланс сушильно-мельничного устройства (в комплексе).

1.2. Выбор размольного устройства и схемы пылеприготовления

Выбор типа мельниц производится в зависимости от физических свойств топлива (коэффициента размолоспособности, выхода летучих) и мощности котельного агрегата.

Шаровые барабанные мельницы (ШБМ) применяются для трудноразмалываемых топлив, требующих тонкого помола: антрацита, полуантрацита и каменных углей с коэффициентом размолоспособности $K_{ло}$ < 1,2. Кроме этого, эти мельницы могут применяется для размола топлив с большим содержанием колчедана: $S_к^р$ = 6–7 %.

Более легкие угли размалываются в молотковых мельницах (ММ), среднеходных мельницах (СМ) и мельницах–вентиляторах (МВ). Углеразмольное устройство можно выбрать по рекомендациям табл. 3.

Таблица 3

Дополнительные значения к выбору типа мельницы

Топливо	Коэффициент размолоспособности	Рекомендуемый тип мельницы
Антрацит	1,0	ШБМ
Каменные угли	≤1,1	ШБМ, ММ
Отходы обогащения	≤1,2	ШБМ, ММ, СМ
Каменные угли	>1,1	СМ, ШБМ, ММ
Отходы обогащения	<1,2	ШБМ
Каменные угли при $V^г$ > 28 %	>1,1	СМ, ММ
Бурые угли	Нет ограничений	ММ, МВ
Сланец, фрезерный торф	Нет ограничений	ММ, МВ

Таблица 4

Углеразмольные мельницы шаровые барабанные (ШБМ) и валковые среднеходные (МВС)

Типоразмер мельницы	Производительность, т/ч	Число оборотов в минуту
ШБМ 207/265/23 (Ш–4)	4	23
ШБМ 220/330/21,8 (Ш–6)	6	21,8
ШБМ 250/390/20 (Ш–10)	10	20,0
ШБМ 287/410/18,7 (Ш–12)	12	18,7
ШБМ 287/470/18,7 (Ш–16)	16	18,7
ШБМ 320/570/17,8 (Ш–25А)	25	17,8
ШБМ 340/737/17,2 (Ш–32)	32	17,2
ШБМ 370/760/17,5 (Ш–38)	38	17,5
ШБМ 370/850/17,6 (Ш–50А)	50	17,6
ШБМ 400/1000/17,1 (Ш–70)	70	17,1
МВС–90	4,5	78,2
МВС–105	6,5	64,5
МВС–125	11,5	59,4
МВС-140	14	50,0
МВС–160	25	48,5
МВС–175	32	41
МВС–240	50	41

Примечание: первая цифра в типоразмере шаровой барабанной мельницы – диаметр барабана. Цифра в типоразмере среднеходной мельницы – диаметр стола.

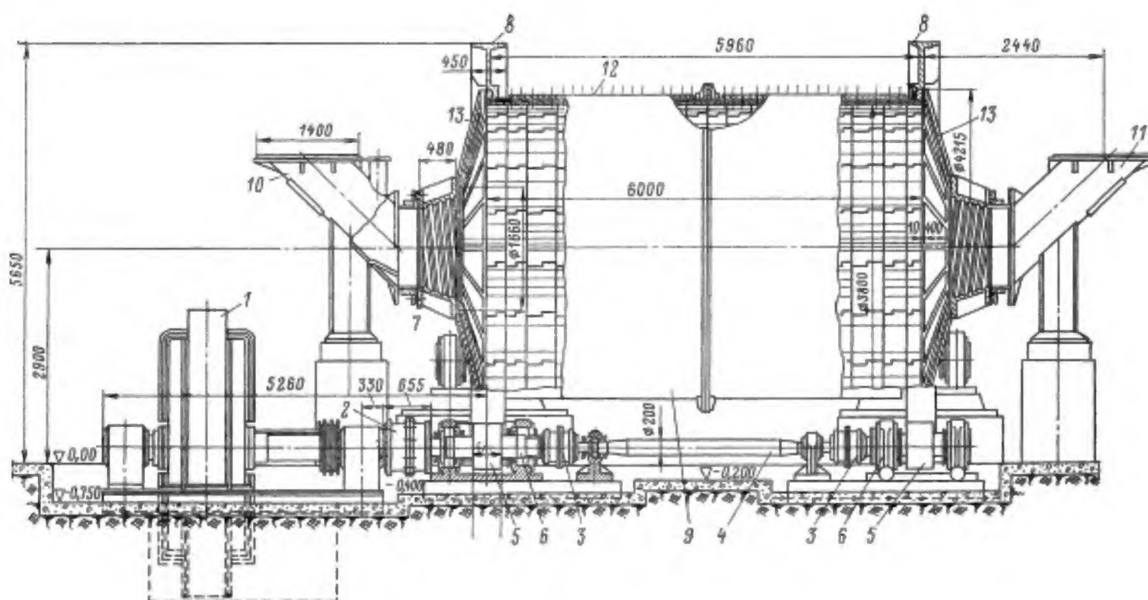


Рис. 1. Шаровая барабанная мельница (ШБМ): 1 – электродвигатель; 2, 3 – зубчатые муфты; 4 – соединительный вал; 5 – приводные ролики; 6 – опорные подшипники качения; 7 – опорные ролики; 8 – гладкие цилиндрические венцы; 9 – барабан мельницы; 10 – углеподающий патрубок; 11 – пылевыдающий патрубок; 12 – цилиндрическая часть барабана; 13 – торцевые стенки

Рис. 2. Среднеходная валковая мельница (МВС): 1 – размольный стол; 2 – мелющий валок; 3 – нажимная пружина; 4 – подпорное кольцо; 5 – воздушный короб; 6 – карман для отхода; 7 – редуктор; 8 – кольцевой канал; 9 – вращающийся сепаратор; 10 – электродвигатель привода сепаратора

Типоразмер мельницы находят по табл. 4, 5. При применении системы пылеприготовления с промбункером и ШБМ устанавливают две мельницы на котел. Производительность мельниц (суммарная) должна в этом случае обеспечивать 110–115 % нагрузки котла.

При установки ММ, МС и МВ при прямом вдувании на каждый блок устанавливается не менее трех мельниц (при производительности котлоагрегата более 400 т/ч). При меньшей производительности – не менее двух. При остановке одной из мельниц остальные должны обеспечить не менее 90 % номинальной производительности котла.

При установке молотковых или среднеходных мельниц в системе пылеприготовления с промежуточным пылевым бункером коэффициент запаса $K_{зап}$ по производительности выбирается следующим образом. При установке двух мельниц на котлоагрегатах $K_{зап}$ = 1,35; при установке трех мельниц $K_{зап}$ = 1,2; при установке четырех и более мельниц $K_{зап}$ = 1,1.

Таблица 5

Углеразмольные мельницы молоткового типа (ММ)
и мельницы-вентиляторы (МВ)

Типоразмер мельницы	Производительность, т/ч	Число оборотов в минуту
ММТ 1000/470/960	3,3	980
ММТ 1000/710/980	5,0	980
ММТ 1000/950/980	6,6	980
ММТ 1300/1310/740	10,8	740
ММТ 1300/2030/735	16,7	735
ММТ 1500/1910/740	23,4	740
ММТ 1500/2510/740	30,6	740
ММТ 2000/2600/590	34,6	590
ММТ 1500/3230/740	39,7	980
ММТ 2000/2200/735	55,3	735
ММТ 2600/3360/590	101	590
ММА 1000/470/980	3,5	980
ММА 1000/710/980	5,2	980
ММА 1300/950/735	8,1	735
ММА 1500/1190/735	14,5	735
ММА 1500/1670/735	20,4	735
ММА 1660/2030/735	24,0	735
МВ 1050/270/1470	5,2	1470
МВ 1050/400/1470	7,2	1470
МВ 1600/400/980	11,8	980
МВ 1600/600/980	17,2	980
МВ 2100/800/735	28,8	735
МВ 2700/850/590	44,0	590
МВ 3300/800/490	58,0	490

Примечание. Первая цифра типоразмера – диаметр ротора, мм; вторая – длина ротора, мм; третья – число оборотов, об/мин. Для мельницы–вентилятора вторая цифра – рабочая ширина лопаток, мм; ММТ – молотковые мельницы тангенциальные; ММА – мельницы молотковые аксиальные; МВ – мельницы–вентиляторы.

Схему пылеприготовления выбирают с учетом следующего. При использовании молотковых, среднеходных мельниц и мелющих вентиляторов обычно применяются замкнутые схемы пылеприготовления с прямым вдуванием.

Производительность одной мельницы, кг/с

$$B_{м} = K_{зап} \cdot \frac{B}{n_{м}}, \quad (1)$$

где $n_{м}$ – количество мельниц, шт; B – расход топлива на котел, кг/с .

Системы пылеприготовления с промежуточным бункером пыли, как правило, применяются при использовании ШБМ, хотя могут применяться и при работе ММ.

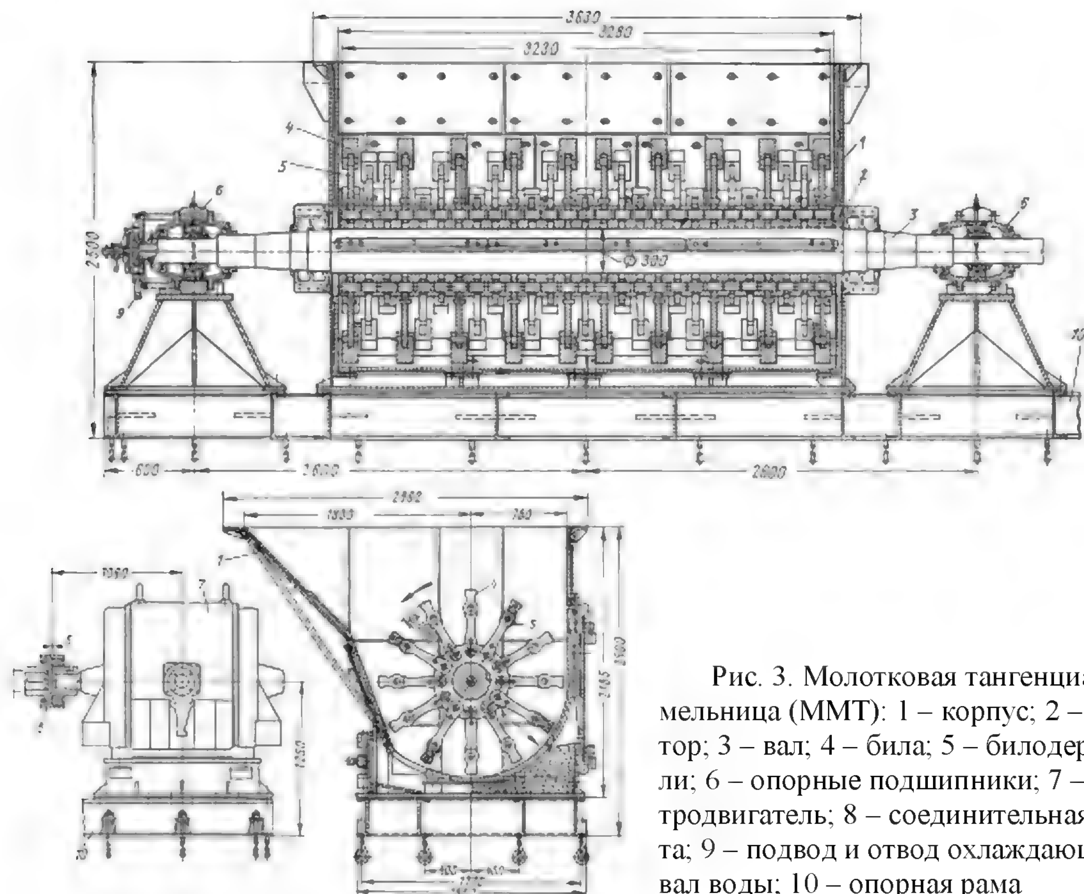


Рис. 3. Молотковая тангенциальная мельница (ММТ): 1 – корпус; 2 – ротор; 3 – вал; 4 – била; 5 – билодержатели; 6 – опорные подшипники; 7 – электродвигатель; 8 – соединительная муфта; 9 – подвод и отвод охлаждающей вал воды; 10 – опорная рама

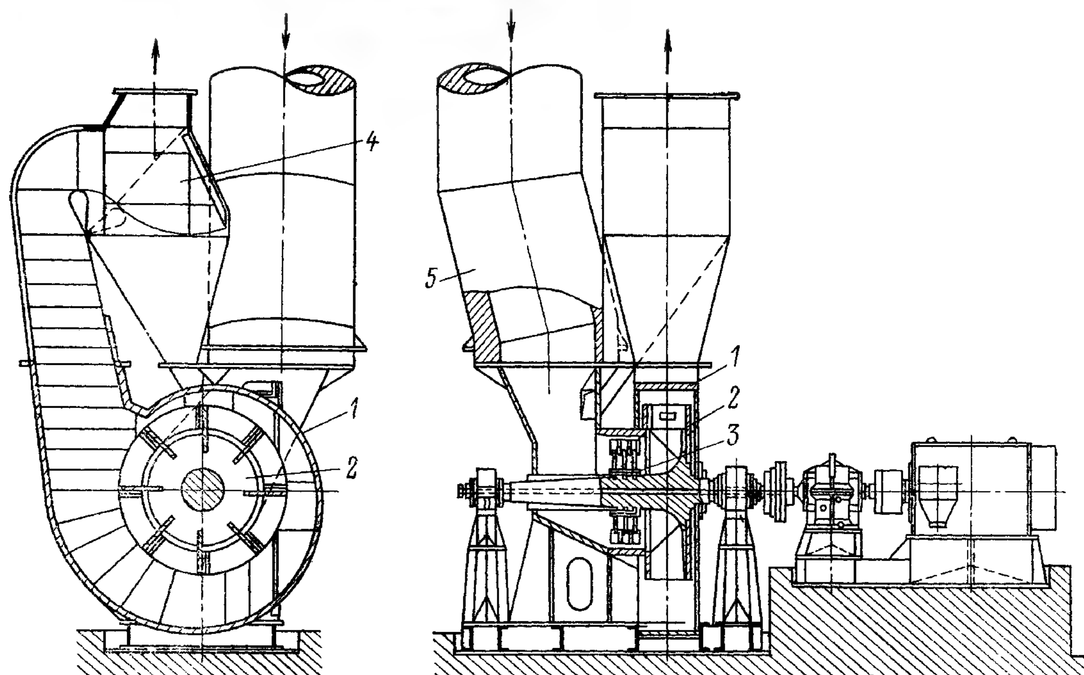


Рис. 4. Мельница-вентилятор с предвключенной бильной частью (МВ): 1 – корпус; 2 – мелющее колесо-вентилятор; 3 – предвключенная бильная часть; 4 – инерционный сепаратор; 5 – подвод топлива и горячего воздуха (сушильный агент)

© Бойко Е.А. *Выбор и расчет систем пылеприготовления и горелочных устройств котельных агрегатов*

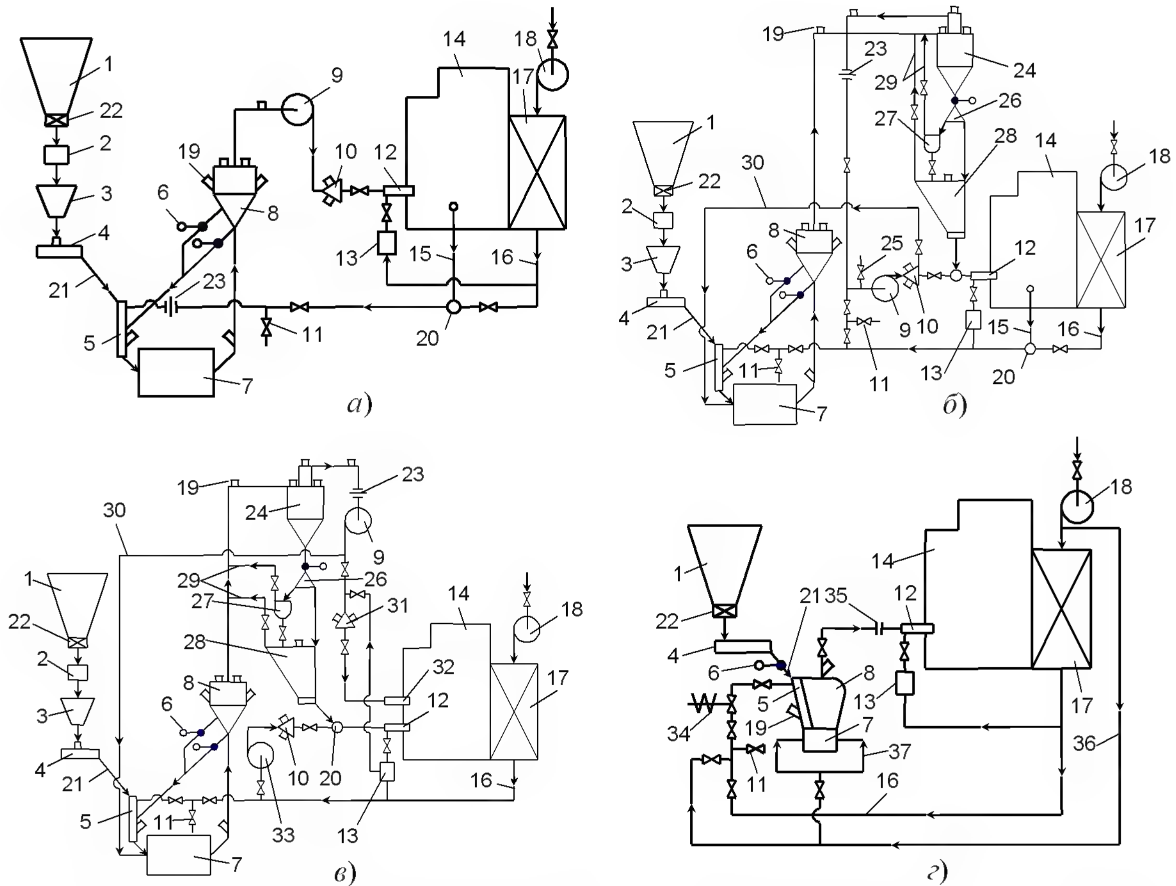


Рис. 5. Индивидуальные системы пылеприготовления котельных агрегатов: *а* – система пылеприготовления прямого вдувания с ШБМ и газовоздушной сушкой топлива; *б* – система пылеприготовления с промежуточным бункером и газовоздушной сушкой топлива; *в* – система пылеприготовления с промежуточным бункером, воздушной сушкой и вентилятором горячего воздуха (ВГД); *г* – система пылеприготовления прямого вдувания с молотковой мельницей: 1 – бункер сырого угля; 2 – автовесы; 3 – весовой бункер; 4 – питатель угля; 5 – устройство для исходящей сушки; 6 – мигалка; 7 – мельница; 8 – сепаратор; 9 – мельничный вентилятор; 10 – короб первичного воздуха; 11 – клапан присадки холодного воздуха; 12 – горелка; 13 – короб вторичного воздуха; 14 – парогенератор; 15 – газопровод; 16 – воздухопровод горячего воздуха; 17 – воздухоподогреватель; 18 – дутьевой вентилятор; 19 – взрывной клапан; 20 – смесительная камера; 21 – течка сырого угля; 22 – отсекающий шибер; 23 – расходомер; 24 – циклон; 25 – атмосферный клапан; 26 – перекидной шибер; 27 – шнек; 28 – бункер пыли; 29 – трубопровод влагоотсоса; 30 – трубопровод рециркуляции; 31 – короб сбросного воздуха; 32 – сбросная горелка; 33 – вентилятор горячего воздуха; 34 – шибер с быстрозакрывающимся устройством; 35 – заглушка; 36 – трубопровод аварийной присадки холодного воздуха; 37 – трубопровод холодного воздуха для уплотнения вала мельницы

1.3. Тепловой баланс сушильно-мельничной системы

1.3.1. Воздушная сушка

Приходные статьи баланса

$$q_{\text{прих}} = q_{\text{в}} + q_{\text{мех}} + q_{\text{прис}}, \qquad (2)$$

где $q_{\text{в}}$ – физическое тепло, вносимое с воздухом, кДж/кг; $q_{\text{мех}}$ – тепло, выделяющееся в результате работы размалывающих органов, кДж/кг; $q_{\text{прис}}$ – физическое тепло присосов холодного воздуха, кДж/кг.

Физическое тепло, вносимое с воздухом (кДж/кг)

$$q_{\text{в}} = g_{\text{в}} \cdot c_{\text{в}} \cdot t_{\text{в}}. \quad (3)$$

Здесь $g_{\text{в}}$– количество воздуха, подаваемого в сушильно-мельничную систему, кг/кг, принимается равным количеству первичного воздуха. Для его нахождения необходимо выбрать типоразмер горелочного устройства (см. разд. 2), а затем принять по рекомендациям табл. 6 значение коэффициента подачи пылевоздушной смеси α_1. Тогда расход первичного воздуха (нм^3/кг) $V_{\text{перв}} = V_{\text{в}}^0 \cdot \alpha_1$ или в массовых единицах (кг/кг)

$$g_{\text{в}} = V_{\text{в}}^0 \cdot \alpha_1 \cdot \rho_{\text{в}}. \quad (4)$$

Здесь $V_{\text{в}}^0$– теоретически необходимое количество воздуха на 1 *кг* топлива, нм^3/кг (определен ранее); $\rho_{\text{в}}$= 1,29 нм^3/кг – плотность воздуха; $c_{\text{в}}$ – теплоемкость воздуха, кДж/(кг·град), принимается по табл. 7 в первом приближении по температуре горячего воздуха; $t_{\text{в}}$ – температура воздуха, подаваемого в сушильно–мельничную систему (является неизвестной величиной и определяется в конце расчета из теплового баланса), °С.

Тепло, выделяющееся в результате работы размалывающих органов:

$$q_{\text{мех}} = K_{\text{мех}} \cdot Э_{\text{разм}}, \quad (5)$$

где $K_{\text{мех}}$ – коэффициент, учитывающий долю энергии, переходящей в тепло в процессе размола. В расчетах принимается равным:

для шаровых барабанных мельниц (ШБМ) – 0,7;
для молотковых мельниц (ММ) – 0,8;
для среднеходных мельниц (СМ) – 0,6;

$Э_{\text{разм}}$ – удельный расход энергии на размол, кДж/кг, принимается по табл. 8.

Физическое тепло присосов холодного воздуха, кДж/кг:

$$q_{\text{прс}} = K_{\text{прис}} \cdot g_{\text{в}} \cdot c_{\text{хв}} \cdot t_{\text{хв}}, \quad (6)$$

где $K_{\text{прис}}$ – коэффициент присоса (количество холодного воздуха, присасываемого в систему, в долях от весового количества сушильного агента).

По опытным данным $K_{\text{прис}}$ принимается:

для системы с ШБМ и промбункером от 0,15 до 025;
для схем с прямым вдуванием от 0,3 до 0,18.

Большие значения относятся к малым типоразмерам, меньшие – к мельницам большой производительности (25 т/ч и более); $t_{хв}$ – температура холодного воздуха, °С, принимается по заданию; $c_{хв}$ – теплоемкость холодного воздуха (см. табл. 7), кДж/(кг·град), определяется по табл. 7 при $t_{хв}$.

Расходные статьи теплового баланса, кДж/кг:

$$q_{расх} = q_{исп} + q''_{в} + q_{тл} + q_5, \qquad (7)$$

где $q_{исп}$ – тепло, затрачиваемое на испарение влаги, кДж/кг; $q''_{в}$ – тепло, уносимое из установки сушильным агентом (в данном случае – с воздухом), кДж/кг; $q_{тл}$ – тепло, затрачиваемое на подогрев топлива, кДж/кг; q_5 – потери тепла от охлаждения установки в окружающую среду, кДж/кг.

Таблица 6

Коэффициент избытка воздуха в горелке $\alpha_г$ и подачи пылевоздушной смеси α_1 при сушке топлива горячим воздухом

Тип горелки	Схема транспортировки пыли к горелкам	Вид сжигаемого топлива					
		АШ, ПА и тощие угли		Каменный уголь		Бурый уголь	
		$\alpha_г$	α_1	$\alpha_г$	α_1	$\alpha_г$	α_1
Вихревая двухулиточная	Горячим воздухом	1,05	0,175	1,05	0,225	–	–
	Сушильным агентом	1,05–1,1	0,225	1,05–1,1	0,26	–	–
Вихревая улиточно–лопаточная	Горячим воздухом	1,05	0,175	1,05	0,225	1,05	0,25
	Сушильным агентом	1,05–1,1	0,225	1,05–1,1	0,26	–	–
Вихревая прямоточно-улиточная	Горячим воздухом	1,05	0,175	1,05	0,225	–	–
	Сушильным агентом	1,05–1,1	0,225	1,05–1,1	1,26	1,05–1,1	0,5
Прямоточная щелевая	Горячим воздухом	1,05	0,15	1,05	0,2	1,05	0,3
	Сушильным агентом	1,05–1,0	0,215	1,05–1,1	0,25	1,05–1,1	0,55
Прямоточная с односторонним вводом вторичного воздуха	Горячим воздухом	1,05	0,15	1,05	0,2	1,05	0,3
	Сушильным агентом	1,05–1,0	0,215	1,05–1,1	0,25	1,05–1,1	0,55

Примечание: вихревые горелочные устройства рекомендуется использовать при сжигании низкореакционных топлив с $V^г < 25$ %, прямоточно-щелевые горелки рекомендуется использовать при сжигании высокореакционных топлив с $V^г \geq 25$ %.

Таблица 7

Теплоемкость некоторых газов, кДж/(кг·град)

Температура, °С	Кислород	Азот	Воздух	Углекислый газ	Водяной пар
0	0,9148	1,0392	1,0036	0,8148	1,8594
100	0,9337	1,0421	1,0103	0,9136	1,8903
200	0,9630	1,0517	1,0245	0,9927	1,9406
300	0,9948	1,0693	1,0446	1,0567	2,0005
400	1,0237	1,0915	1,0685	1,1103	2,0645
500	1,0484	1,1154	1,0923	1,1542	2,1319
600	1,0689	1,1392	1,1149	1,1920	2,2014
700	1,0856	1,1614	1,1355	1,2230	2,2730
800	1,0999	1,1815	1,1539	1,2493	2,3450
900	1,1120	1,1974	1,1702	1,2715	2,4154
100	1,1229	1,2150	1,1844	1,2900	2,4824
1100	1,1317	1,2266	1,1970	1,3059	2,5456
1200	1,1401	1,2410	1,2083	1,3197	2,6042
1300	1,1484	1,2514	1,2179	1,3314	2,6586
1400	1,1564	1,2606	1,2267	1,4315	2,7089
1500	1,1639	1,2686	1,2347	1,3498	2,7553
1600	1,1710	1,2761	1,2418	1,3574	2,7980
1700	1,1786	1,2824	1,2485	1,3636	2,8382
1800	1,1757	1,2883	1,2944	1,3695	2,8742
1900	1,1928	1,2933	1,2602	1,3741	2,9073
2000	1,2004	1,2979	1,2653	1,3783	2,9366
2100	1,2075	1,3021	1,2703	1,3816	2,9668
2200	1,2142	1,3063	1,2749	1,3842	2,9936
2300	1,2213	1,3096	1,2791	1,3862	3,0178

Таблица 8

Ориентировочные значения $Э_{разм}$, кДж/кг

Марка топлива	Тип мельницы			
	молотковая	шаровая барабанная	среднеходная	мельница–вентилятор
АШ	–	90–110	–	–
Каменный уголь	47–85	85–90	–	–
Бурый уголь	18–43	35–65	–	–
Сланцы	22–43	30–58	–	–
Фрезерный торф	15–18	–	–	–
Донецкий Т	–	–	40–43	–
Донецкий Г	–	–	35–37	–
Кузнецкий СС	–	–	33–35	–
Подмосковный Б	40	–	–	42
Назаровский Б	43	–	–	50
Бикинский Б	46	–	–	57

© Бойко Е.А. *Выбор и расчет систем пылеприготовления и горелочных устройств котельных агрегатов*

Тепло, затрачиваемое на испарение влаги, кДж/кг:

$$q_{\text{исп}} = \Delta W \cdot \left(2500 + 1{,}9 \cdot t_2 - 4{,}19 \cdot t_{\text{тл}}\right), \quad (8)$$

где ΔW – количество испаренной влаги на 1 кг сырого топлива, кг/кг.

$$\Delta W = \frac{W^{\text{р}} - W^{\text{пл}}}{100 - W^{\text{пл}}}. \quad (9)$$

Влажность угольной пыли $W^{\text{пл}}$ принимается по табл. 1. Для топлив, не попавших в таблицу, она принимается на 0,5 % больше гигроскопической влажности топлива $W^{\text{ги}}$ (см. таблицу элементарного состава топлива [2]).

Температура пылевоздушной смеси за мельницей $t_{2\text{м}}$, °С принимается по табл. 2. Температура сушильного агента в конце установки t_2, °С принимается равной: $t_2 = t_{2\text{м}} - 5$, °С – при схеме с прямым вдуванием; $t_2 = t_{2\text{м}} - 10$, °С – при схеме с промежуточным бункером; $t_{\text{тл}}$, °С – температура сырого топлива, принимается равной температуре холодного воздуха (по заданию).

Тепло, уносимое из установки с сушильным агентом (в этом случае – с воздухом), кДж/кг:

$$q''_{\text{в}} = \left(1 + K_{\text{прис}}\right) \cdot g_{\text{в}} \cdot c_{\text{в}} \cdot t_2, \quad (10)$$

где $c_{\text{в}}$ – теплоемкость воздуха, кДж/(кг·град), принимается по табл. 7 при температуре аэросмеси за мельницей – t_2.

Тепло, затрачиваемое на подогрев топлива, кДж/кг:

$$q_{\text{тл}} = \frac{100 - W^{\text{р}}}{100} \cdot \left[c^{\text{с}}_{\text{тл}} + \frac{W^{\text{пл}} \cdot 4{,}19}{100 - W^{\text{пл}}}\right] \cdot \left(t_{2\text{т}} - t_{\text{тл}}\right), \quad (11)$$

где $c^{\text{с}}_{\text{тл}}$ – теплоемкость сухой массы топлива, кДж/(кг·град) принимается по следующим рекомендациям:

для антрацита и тощих углей	– 0,92;
для каменных углей	– 1,1;
для бурых углей и торфа	– 1,16;
для сланцев	– 0,88;

$t_{2\text{т}}$ – температура угольной пыли в конце установки, °С, принимается в расчетах $t_{2\text{т}} \approx t_2$.

Потери тепла от охлаждения установки в окружающую среду, кДж/кг:

$$q_5 = \frac{Q_5^{\text{общ}}}{B_{\text{м}}}, \quad (12)$$

где $Q_5^{\text{общ}}$ – часовая потеря тепла на охлаждение установки, кВт, принимается по табл. 9.

Таблица 9

Потери тепла в окружающую среду системами пылеприготовления Q_5, кВт

Шаровая барабанная мельница							
Типоразмер мельницы	Установка с прямым вдуванием			Установка с промежуточным бункером			
	Без предварительной сушки	С предварительной сушкой	С предварительной подсушкой	Без предварительной сушки		С предварительной сушкой	
	Для АШ и тощих углей		Для бурых и каменных углей	Каменные угли	АШ и тощие угли	Бурые и каменные угли	АШ и тощие угли
ШБМ 160/235	15	18	16	14	22	20	24
ШБМ 207/265	18	22	20	20	29	28	31
ШБМ 220/330	23	27	25	25	38	36	42
ШБМ 250/360 и ШБМ 250/190	28	32	30	29	43	42	47
ШБМ 287/410	34	39	37	36	52	52	58
ШБМ 287/470	35	40	38	37	53	53	59
ШБМ с производительностью 2,5 и 32 т/ч	42	49	46	45	64	64	71

Окончание таблицы 9

Потери тепла в окружающую среду системами пылеприготовления Q_5, кВт

Молотковая мельница		Мельница – вентилятор		Среднеходная мельница	
Типоразмер	Потеря	Типоразмер	Потеря	Типоразмер	Потеря
ММА 1000/470	6	МВ 8/90	4,7	МВС–65	10,5
ММА 1000/710	8	МВ 12,5/105	7,0	МВС–80	13,0
ММА 1300/950	12	МВ 20/105	9,3	МВС–90	15,0
ММА 1500/1190	15	МВ 50/160	13,0	МВС–105	17,5
ММА 1500/1670	20	МВ 80/210	16,0	МВС–115	19,5
ММА 1600/2030	23	МВ 150/270	20,0	МВС–125	21,5
ММТ 1000/470	6			МВС–140	26,0
ММТ 1000/710	8			МВС–160	28,5
ММТ 1000/950	10			МВС–175	32,0
ММТ 1300/1310	15				
ММТ 1300/2030	20				
ММТ 1500/1910	21				
ММТ 1500/2510	25				
ММТ 1500/3230	30				
ММТ 2000/2200	30				
ММТ 2000/2600	35				
ММТ 2600/3360	46				

© Бойко Е.А. *Выбор и расчет систем пылеприготовления и горелочных устройств котельных агрегатов*

1.3.2. Газовая сушка

Приходные статьи баланса

$$q_{\text{прих}} = q'_{\text{г}} + q_{\text{мех}} + q_{\text{прис}}, \quad (13)$$

где $q'_{\text{г}}$ – физическое тепло, вносимое с газами, подаваемыми для сушки и транспортировки пыли в системе пылеприготовления, кДж/кг; $q_{\text{мех}}$ – тепло, выделяющееся в результате работы размалывающих органов, кДж/кг (см. формулу 5); $q_{\text{прис}}$ – тепло внесенное с присосанным воздухом, кДж/кг.

Физическое тепло, вносимое с газами, подаваемыми для сушки и транспортировки пыли в системе пылеприготовления, кДж/кг

$$q'_{\text{г}} = g_{\text{г}} \cdot c_{\text{г}} \cdot t'_{\text{г}}. \quad (14)$$

Здесь $t'_{\text{г}}$ – температура газов, подаваемых в систему, °С. При заборе газов из верхней части топки принимается $t'_{\text{г}}$ = 900–1000 °С (см. выше); $c_{\text{г}}$ – теплоемкость газов, кДж/(кг·град), может приниматься по рис. 1 при температуре газов $t'_{\text{г}}$, либо подсчитываться исходя из теплоемкости газов, входящих в смесь (табл. 7), и их содержания в смеси (см. тепловой расчет котельного агрегата); $g_{\text{г}}$ – количество газов, кг/кг, является неизвестной величиной и определяется в конце из теплового баланса. Определение $q_{\text{мех}}$ аналогично расчету при воздушной сушке. Тепло, внесенное с присосанным воздухом, кДж/кг:

$$q_{\text{прис}} = K_{\text{прис}} \cdot g_{\text{г}} \cdot c_{\text{хв}} \cdot t_{\text{хв}}. \quad (15)$$

Расходные статьи баланса, кДж/кг:

$$q_{\text{расх}} = q_{\text{исп}} + q''_{\text{г}} + q_{\text{тл}} + q_5, \quad (16)$$

где $q_{\text{исп}}$ – тепло, затрачиваемое на испарение влаги, кДж/кг (см. формулу 8); $q''_{\text{г}}$ – тепло, уносимое из установки сушильным агентом (в данном случае – с дымовыми газами), кДж/кг; $q_{\text{тл}}$ – тепло, затрачиваемое на подогрев топлива, кДж/кг (см. формулу 11); q_5 – потери тепла от охлаждения установки в окружающую среду, кДж/кг (см. формулу 12).

Тепло, уносимое сушильным агентом (газами) из системы пылеприготовления, кДж/кг:

$$q''_{\text{г}} = \left(1 + K_{\text{прис}}\right) \cdot g_{\text{г}} \cdot c_{\text{г}} \cdot t_2, \quad (17)$$

где $g_{\text{г}}$ – расход газов на сушку, является неизвестной величиной и определяется в конце расчета, кг/кг; $c_{\text{г}}$ – теплоемкость газов, кДж/(кг·град); t_2 – тем-

пература смеси за мельницей, °С, выбор которой производится аналогично расчету пылесистемы при воздушной сушке. Значения величин $q_{исп}$, $q_{тл}$, q_5 определяются аналогично расчету при воздушной сушке.

1.3.3. Газовоздушная сушка

Приходные статьи баланса

$$q_{прих} = q_{са} + q_{мех} + q_{прис}, \quad (18)$$

где $q_{са}$ – физическое тепло, внесенное сушильным агентом, кДж/кг; $q_{мех}$ – тепло, выделяющееся в результате работы размалывающих органов, кДж/кг (см. формулу 5); $q_{прис}$ – физическое тепло присосов холодного воздуха, кДж/кг (см. формулу 6).

Физическое тепло, внесенное сушильным агентом, кДж/кг

$$q_{са} = g_в \cdot c_в \cdot t_в + g_г \cdot c_г \cdot t_г. \quad (19)$$

Первое слагаемое в формуле (19) учитывает тепло, внесенное с воздухом, второе – с газами, поданными в систему пылеприготовления.

Интерпретация величин, входящих в формулу (19) определяется двумя типичными случаями:

1. Размалывается влажное топливо (например, бурый уголь), дополнительная подача газа вызвана большой потребностью в тепле. В такой ситуации известными величинами являются: $g_в$ – расход воздуха, кг/кг, равный количеству первичного воздуха, подаваемого для горения, (определение $g_в$ – см. раздел 1.3.1, формула (4)); $t_в$ – температура воздуха, °С, равная выбранной раннее температуре горячего воздуха (см. тепловой расчет котла); $c_в$ – теплоемкость воздуха, кДж/(кг·град), определяемая по табл. 7 по температуре $t_в$; $t_г$ – температура газов, °С, отбираемых из верхней части топки.

В конце расчета сушильно-мельничной системы из ее теплового баланса, следует определить количество помешиваемого газа – $g_г$, кг/кг.

2. Размалывается маловлажное топливо, но с большим выходом летучих (например, каменные угли).

В этом случае количество подмешиваемых газов $g_г$ должно обеспечивать снижение содержания кислорода в смеси до 17 % (по объему). Это количество $g_г$ может быть определено из уравнения $V_{перв} \cdot 0,21 = \left(V_{перв} + V_г\right) \cdot 0,17$. Отсюда $V_г = 0,235 \cdot V_{перв}$. Тогда, значение $g_г$, кг/кг может быть найдено из соотношения

$$\frac{g_{\text{г}}}{\rho_{\text{г}}} = 0,235 \cdot \frac{g_{\text{в}}}{\rho_{\text{в}}}. \quad (20)$$

Здесь $V_{\text{г}}$ – объем подмешиваемых газов, нм^3/кг; $V_{\text{перв}}$ – объем первичного воздуха, подаваемого в систему, нм^3/кг; $g_{\text{г}}$ – масса газов, кг/кг; $\rho_{\text{г}}$ = 1,3 кг/нм^3 – плотность газов; $g_{\text{в}}$ – масса воздуха, кг/кг, определяется по формуле (4); $\rho_{\text{в}}$= 1,29 кг/нм^3 – плотность воздуха.

Тогда количество подмешиваемых газов, кг/кг: $g_{\text{г}} \approx 0,235 \cdot g_{\text{в}}$. Расход воздуха $g_{\text{в}}$, кг/кг, определяется согласно рекомендациям раздела 1.3.1 (формула (4)). Температура газов $t_{\text{г}}$, °С – принимается равной температуре газов за дымососом, то есть $t_{\text{г}} = t_{\text{ух.г}}$.

Таким образом, при размоле маловлажных топлив, в результате составления теплового баланса следует определить температуру воздуха, подаваемого в сушильно–мельничную систему – $t_{\text{в}}$, °С.

Тепло, выделяющееся в результате работы размалывающих органов, $q_{\text{мех}}$, кДж/кг, и учитываемое в приходной части баланса, определяется аналогично, как и в случае воздушной сушки (см. раздел 1.3.1. – формула (5)).

Физическое тепло присосанного воздуха, кДж/кг:

$$q_{\text{прс}} = K_{\text{прис}} \cdot \left(g_{\text{г}} + g_{\text{в}}\right) \cdot c_{\text{хв}} \cdot t_{хв}. \quad (21)$$

Расходные статьи баланса, кДж/кг:

$$q_{\text{расх}} = q_{\text{исп}} + q''_{\text{са}} + q_{\text{тл}} + q_5, \quad (22)$$

где $q_{\text{исп}}$ – тепло, затрачиваемое на испарение влаги, кДж/кг (см. формулу 8); $q''_{\text{са}}$ – тепло, уносимое из установки сушильным агентом (в данном случае – смесью воздуха с дымовыми газами), кДж/кг; $q_{\text{тл}}$ – тепло, затрачиваемое на подогрев топлива, кДж/кг (см. формулу 11); q_5 – потери тепла от охлаждения установки в окружающую среду, кДж/кг (см. формулу 12).

Расход тепла с отработавшими в пылесистеме газами, $q''_{\text{са}} = q''_{\text{г}} + q''_{\text{в}}$, кДж/кг

$$q''_{\text{са}} = \left(g_{\text{г}} \cdot c_{\text{г}} + g_{\text{в}} \cdot c_{\text{в}}\right) \cdot t_2 \cdot (1 + K_{\text{прис}}).,\quad (23)$$

где $c_{\text{г}}$ – теплоемкость дымовых газов, кДж/(кг·град), определяется по рис. 6 при температуре аэросмеси за мельницей t_2; $c_{\text{в}}$ – теплоемкость воздуха, кДж/(кг·град), определяется по табл. 7 при температуре аэросмеси за мельницей t_2; $g_{\text{г}}$ – масса подмешиваемых газов, кг/кг, определяется из соотношения (20); $g_{\text{в}}$ – масса воздуха, кг/кг, определяется по уравнению (4).

1.3.4. Нахождение искомой величины

Искомая величина (либо температура воздуха на входе в сушильно-мельничное устройство при воздушной сушке – $t_{\text{в}}$, °С, либо расход газов при газовой сушке – $g_{\text{г}}$, кг/кг, либо температура воздуха или расход газов при газовоздушной сушке) находится по уравнению теплового баланса после приравнивания приходных статей баланса ($q_{\text{прих}}$, кДж/кг) расходным ($q_{\text{расх}}$, кДж/кг):

$$q_{\text{прих}} = q_{\text{расх}}, \tag{24}$$

или

$$q_{\text{са}} + q_{\text{мех}} + q_{\text{прис}} = q_{\text{исп}} + q''_{\text{са}} + q_{\text{тл}} + q_5 . \tag{25}$$

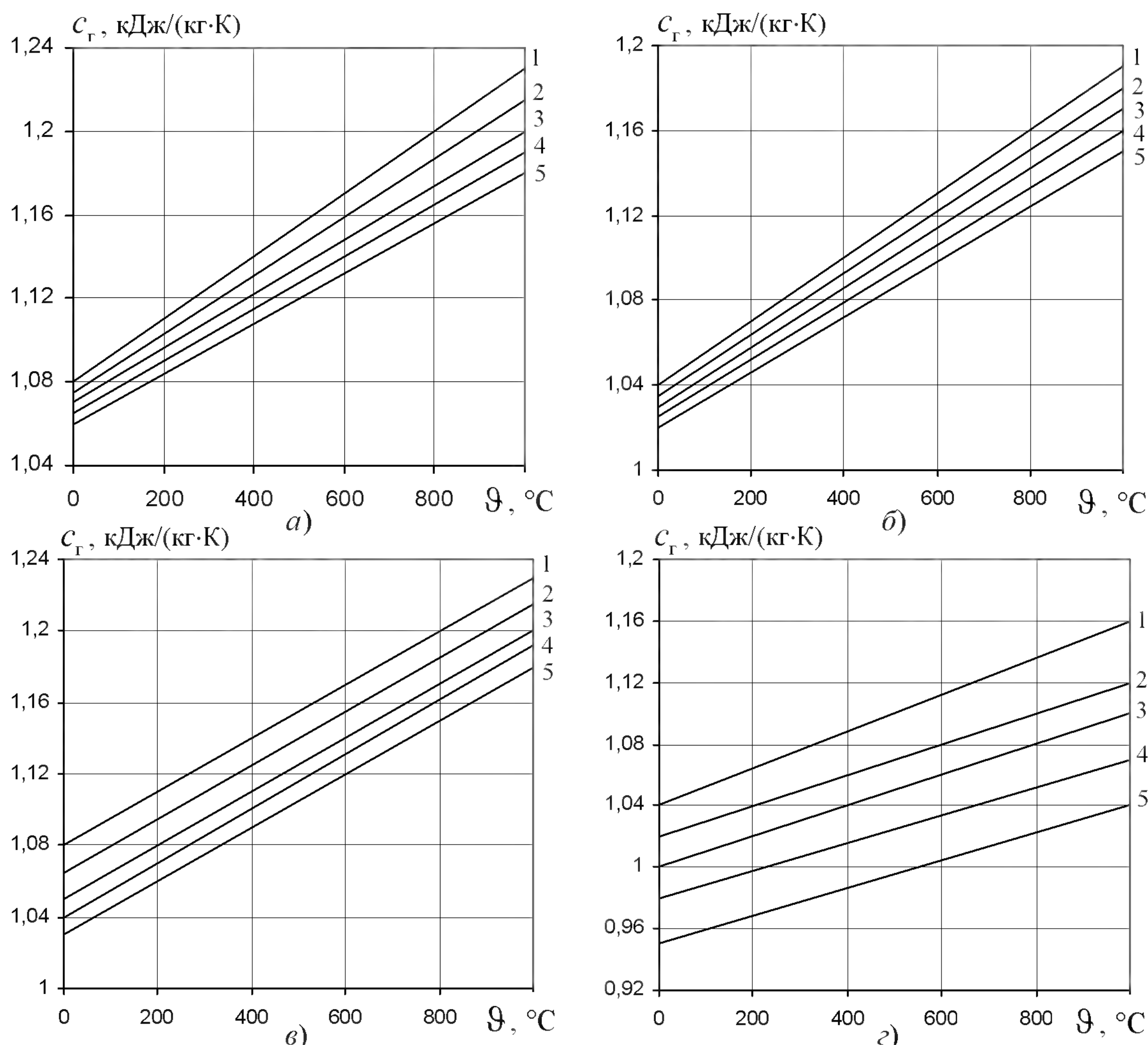


Рис. 6. Теплоемкость топочных газов при различных избытках воздуха: *а*) бурый уголь, Б1; *б* – бурый уголь Б2; *в* – бурый уголь Б3; *г* – каменный уголь; 1 – α = 1,2; 2 – α = 1,4; 3 – α = 1,6; 4 – α = 1,8; 5 – α = 2,0

© Бойко Е.А. *Выбор и расчет систем пылеприготовления и горелочных устройств котельных агрегатов*

1.4. Пересчет производительности углеразмольных мельниц на другое топливо

1.4.1. Обоснование необходимости пересчета

На производительность мельницы оказывает влияние целый ряд факторов: размолоспособность топлива, начальный размер кусков, конечная тонкость помола, начальная влажность топлива, конечная влажность (пыли) и ряд других факторов. В таблицах характеристик мельничных устройств обязательно указывается, по какому топливу (эталонному) определена ее производительность. При использовании размольных устройств на других топливах следует произвести перерасчет.

1.4.2. Метод пересчета производительности различных типов мельниц

Пересчет размольной производительности ШБМ, СМ, ММА, ММТ и МВ производится по следующей формуле, т/ч:

$$B'' = B'_{\text{м}} \frac{K''_{\text{ло}} \cdot П''_{\text{вл1}} \cdot П''_{\text{вл2}} \cdot П''_{\text{др}} \cdot \sqrt{\ln \dfrac{100}{R'_{90}}}}{K'_{\text{ло}} \cdot П'_{\text{вл1}} \cdot П'_{\text{вл2}} \cdot П'_{\text{др}} \cdot \sqrt{\ln \dfrac{100}{R''_{90}}}}, \tag{26}$$

где B'', $B'_{\text{м}}$ – производительность мельницы на рассчитываемом и эталонном топливах: с одним штрихом для эталонного и двумя штрихами для исследуемого топлива; величина $B'_{\text{м}}$ выбирается по табл. 4 и 5 в зависимости от выбранного типоразмера мельницы; $П_{\text{вл1}}$, $П_{\text{вл2}}$ – поправочные коэффициенты, учитывающие влияние влажности топлива на его размолоспособность, подсчитываются по формулам; $K_{\text{ло}}$ – коэффициент размолоспособности (см. табл. 1).

Значения поправочных коэффициентов $П_{\text{вл1}}$ и $П_{\text{вл2}}$ рассчитываются по следующим зависимостям:

$$П_{\text{вл1}} = \frac{K^2 - \left(W^{\text{ср}}\right)^2}{K^2 - \left(W^{\text{пл}}\right)^2}, \tag{27}$$

где K – константа, характеризующая максимальную влажность топлива,

$$K = 4 + 1{,}07 \cdot W^{\text{ср}}, \tag{28}$$

где $W^{\text{ср}}$ – средняя влажность размалываемого топлива для сланцев и бурых углей, %

$$W^{\text{ср}} = \frac{W^{p} + 3 \cdot W^{\text{пл}}}{4}, \qquad (29)$$

для каменных углей

$$W^{\text{ср}} = \frac{W^{\text{р}} + 6 \cdot W^{\text{п}}}{7}, \qquad (30)$$

где $W^{\text{пл}}$ – влажность топлива, %; $W^{\text{р}}$ – влажность топлива перед мельницей (влажность топлива на рабочую массу), %.

Примечание: при подсчете $W^{\text{ср}}$ и наличии предвключенных сушильных устройств вместо $W^{\text{р}}$ следует использовать влажность топлива за этими устройством (перед мельницей) $W'_{\text{м}}$, %. Методика определения $W'_{\text{м}}$ приведена в [3]. В объем данной работы расчет предвключенных сушильных устройств не входит.

$$П_{\text{вл2}} = \frac{100 - W^{\text{ср}}}{100 - W^{\text{р}}}, \qquad (31)$$

Значение $П_{\text{др}}$ принимается по графику (рис. 7); для АШ поправка $П_{\text{др}} = 1$. Для всех мельниц рекомендуемое значение R_5 = 20–30 %. Тонкость $П_{\text{др}}$ помола за сепаратором R_{90}(%) для разных углей приведена в табл. 1.

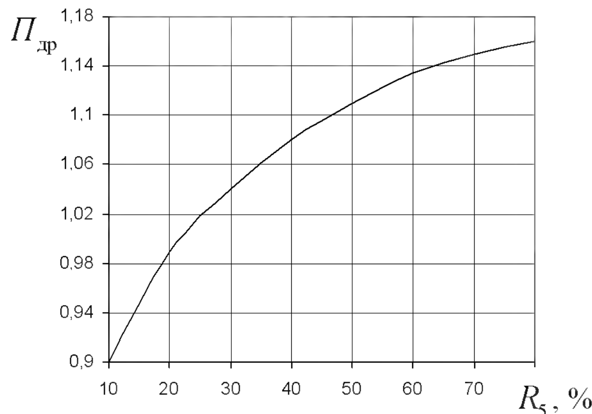


Рис. 7. Зависимость коэффициента $П_{\text{др}}$ от остатка на сите R_5

Характеристики эталонного топлива для мельниц различных типов:

1. ММТ и ММА (бурый уголь, инерционные сепараторы):
$W^{\text{р}}$ = 33 %; $K'_{\text{ло}}$ = 1,7; R'_5 = 20 %; R'_{90} = 55 %; $W^{\text{пл}}$ = 8 %;
2. ШБМ (уголь–антрацит):
$W^{\text{р}}$ = 8,5 %; $K'_{\text{ло}}$ = 0,95; R'_5 = 20 %; R'_{90} = 7 %; $W^{\text{пл}}$ = 1 %;
3. МС (уголь каменный):
$W^{\text{р}}$ = 30 %; $K'_{\text{ло}}$ = 1,5; R'_5 = 20 %; R'_{90} = 10 %; $W^{\text{пл}}$ = 3 %
4. МВ (уголь бурый):
$W^{\text{р}}$ = 56,6 %; $K'_{\text{ло}}$ = 1,7; R'_5 = 20 %; R'_{90} = 60 %; $W^{\text{пл}}$ = 6,5 %.

1.4.3. Определение сушильной производительности мельницы

По найденному из теплового баланса значению расхода сушильного агента $g_{\text{са}}$, кг/кг, подсчитывается ограничиваемая условиями сушки производительность (сушильная производительность, кг/с) мельницы любого типа:

$$B_{\text{с}} = \frac{V_{\text{мв}} \cdot \beta}{g_{\text{са}} \cdot \left(0,774 + 0,786 \cdot K_{\text{прис}} + 0,00125 \cdot d'_{\text{см}} + 1,245 \cdot \Delta W\right)}, \qquad (32)$$

где $g_{\text{са}}$ – расход сушильного агента, кг/кг, при: воздушной сушке $g_{\text{са}} = g_{\text{в}}$, газовой сушке $g_{\text{са}} = g_{\text{г}}$, газовоздушной сушке $g_{\text{са}} = g_{\text{в}} + g_{\text{г}}$; β – поправочный коэффициент на барометрическое давление и температуры аэросмеси за мельницей, определяется по формуле

$$\beta = \frac{273 \cdot \left(Б - \dfrac{S'_{\text{мв}}}{13,6}\right)}{\left(273 + t'_{\text{мв}}\right) \cdot 760}, \qquad (33)$$

где $S'_{\text{мв}}$ – разрежение перед мельничным вентилятором, принимается в расчетах $S'_{\text{мв}}$ = 150–200 мм.вод.ст.; $K_{\text{прис}}$ – присосы воздуха в мельничной установке (см. раздел 1.3.1); $Б$ – барометрическое давление, принимается в расчетах $Б$ = 760 мм.рт.ст.; $t'_{\text{мв}}$ – температура аэросмеси на входе в мельничный вентилятор, принимается равной температуре на выходе из мельницы $t_{2\text{м}}$ (см. табл. 2); $d'_{\text{см}}$ – влагосодержание сушильного агента на входе в мельницу. При воздушной сушке $d'_{\text{см}} = d_{\text{в}}$ = 10 г/кг. При сушке газами $d'_{\text{см}} = d_{\text{г}}$, где влагосодержание газов определяется по формуле

$$d_{\text{г}} = \frac{10\left(9 \cdot \text{H}^{\text{р}} + W^{\text{р}}\right) + \rho_{\text{в}} \cdot \alpha \cdot V_{\text{в}}^{0} \cdot d_{\text{в}}}{1 + \rho_{\text{в}} \cdot \alpha \cdot V_{\text{в}}^{0} - \dfrac{A^{\text{р}}}{100}}, \qquad (34)$$

где α – коэффициент избытка воздуха в районе отбора газов (см. тепловой расчет котла).

При сушке смесью воздуха и газов, г/кг

$$d'_{\text{см}} = \frac{d_{\text{в}} \cdot g_{\text{в}} + d_{\text{г}} \cdot g_{\text{г}}}{g_{\text{в}} + g_{\text{г}}}. \qquad (35)$$

$V_{\text{мв}}$ – производительность мельничного вентилятора, м^3/с, равная объему газов на выходе из сушильно-мельничной системы.

При воздушной сушке

$$V_{\text{мв}} = \left[\frac{(1 + K_{\text{прис}}) \cdot g_{\text{в}}}{\rho_{\text{в}}} + \frac{\Delta W}{\rho_{\text{вп}}} \right] \cdot \left(\frac{273 + t'_{\text{мв}}}{273} \right) \cdot B_{\text{м}}, \quad (36)$$

где $B_{\text{м}}$ – расчетная производительность мельницы, кг/с.

При газовой сушке

$$V_{\text{мв}} = \left[\frac{g_{\text{г}}}{\rho_{\text{г}}} + \frac{\Delta W}{\rho_{\text{вп}}} + V_{\text{в}}^0 \cdot K_{\text{прис}} \right] \cdot \left(\frac{273 + t'_{\text{мв}}}{273} \right) \cdot B_{\text{м}}. \quad (37)$$

При газовоздушной сушке

$$V_{\text{мв}} = \left[\frac{(1 + K_{\text{прис}}) \cdot g_{\text{в}}}{\rho_{\text{в}}} + \frac{\Delta W}{\rho_{\text{вп}}} + \frac{g_{\text{г}}}{\rho_{\text{г}}} \right] \cdot \left(\frac{273 + t'_{\text{мв}}}{273} \right) \cdot B_{\text{м}}, \quad (38)$$

где $\rho_{\text{в}}$ = 1,29 кг/нм^3 – плотность воздуха; $\rho_{\text{г}}$ = 1,3 кг/нм^3 – плотность газов; $\rho_{\text{вп}}$ = 0,804 кг/нм^3 – плотность водяных паров.

После расчета размольной и сушильной производительности мельницы выполняют проверку правильности выбранного ранее типоразмера мельницы, а также типа сушильного агента и его температуры.

Если выполняются условия $B'' \geq B_{\text{м}}$ и $B_{\text{с}} \geq B_{\text{м}}$, то это свидетельствует о том, что выбранный ранее типоразмер мельницы, а также тип сушильного агента и его температура удовлетворяют как по размольной, так и по сушильной производительности и расчет сушильно-мельничной системы считается законченным.

Если в результате расчета сушильно-мельничной системы получилось, что $B'' < B_{\text{м}}$, то следует заменить типоразмер мельничного устройства и выполнить заново расчет сушильно-мельничного устройства.

При отличии сушильной производительности от выбранной, когда $B_{\text{с}} \leq B_{\text{м}}$ следует, например, изменить тип сушильного агента (в частности, воздушную сушку топлива заменить на газовоздушную; газовоздушную сушку заменить на газовую) или повысить температуру сушильного агента перед мельницей и выполнить заново расчет сушильно-мельничной системы на измененный набор исходных данных. Также данную проблему можно решить путем использования в системе пылеприготовления предвключенного сушильного устройства (например, трубы-сушилки) с последующим пересчетом теплового баланса сушильно-мельничной системы.

2. РАСЧЕТ ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВ

2.1. Выбор типоразмера горелочных устройств и компоновки топки

Горелочное устройство выбирается в зависимости от способа сжигания (твердое или жидкое шлакоудаление), тепловой мощности горелки и марки сжигаемого топлива. Для выбора типоразмера горелок и их количества ($z_г$) следует использовать данные табл. 10.

При выборе горелочных устройств необходимо учитывать следующие практические рекомендации. Различают два основных типа горелок: вихревые и прямоточные. Вихревые горелки универсальны и применимы для любого твердого топлива, но наибольшее распространение они получили при сжигании топлива с малым выходом летучих ($V^г$ < 25 %). Вихревые горелки бывают двухулиточные с закручиванием аэросмеси и вторичного воздуха (рис. 8) и прямоточно-улиточные, в которых первичная смесь подается по прямоточному каналу, а вторичный воздух закручивается (рис. 9). Работа вихревых горелок характеризуется параметром крутки (см. табл. 12).

Прямоточные горелки, в которых потоки не закручиваются, включают одно или несколько сопел пылевоздушной смеси и вторичного воздуха, размещенных в одной амбразуре (рис. 10). Под ярусом горелок понимается совокупность горелок, оси амбразур которых размещаются в оной горизонтальной плоскости. Прямоточные горелки по способу подачи пылевоздушной смеси делятся на горелки с односторонней (рис. 11), центральной (рис. 12) и чередующейся (рис. 13, 14) подачами пылевоздушной смеси. По форме сопел, из которых вытекают струи вторичного воздуха, горелки делятся на вертикально-щелевые (рис. 11, 13) и горизонтально-щелевые, включая круглые (рис. 14). Конструкции горелок должны увязываться с компоновкой топочной камеры. Тока с тангенциальной компоновкой (рис. 15–18) практически при сжигании всех марок углей может быть как с твердым, так и с жидким шлакоудалением. При жидком шлакоудалении рекомендуются прямоточные горелки с односторонней (рис. 11) и центральной подачами пылевоздушной смеси (рис. 12).

При сжигании каменных и бурых углей в топках с жидким шлакоудалением рекомендуется применять вертикально-щелевые горелки с односторонней подачей пылевоздушной смеси (рис. 11), плоскофакельные (рис. 12) и горизонтально-щелевые с чередующейся подачей пылевоздушной смеси (рис. 14).

Схема топки со встречной компоновкой представлена на рис. 19. Области ее применения, типы горелочных устройств и пределы тепловой мощности рекомендуемых горелок приведены в табл. 10, 11.

Таблица 10

Тепловая мощность $Q_г$ ($z_г$ количество прямоточных горелок и $z_{яр}$ число ярусов)

Паропроизводительность котла, $D_{пе}$, кг/с	Жидкое шлакоудаление						Твердое шлакоудаление					
	Каменный и бурый уголь			Все угли			Каменный и бурый уголь					
	Тангенциальное расположение			Встречное расположение			Тангенциальное расположение			Встречное расположение		
	$z_г$	$z_{яр}$	$Q_г$, МВт	$z_г$	$z_{яр}$	$Q_г$, МВт	$z_г$	$z_{яр}$	$Q_г$, МВт	$z_г$	$z_{яр}$	$Q_г$, МВт
20,8	4	1	13–15	4	–	–	4	1	13–15	–	–	–
33,4	4	1	20–25	–	–	–	4	1	20–25	–	–	–
44,4	4	1	25–30	4	1	30–35	4	1	30–35	–	–	–
61,0	4	1	30–35	4	1	30–35	8	2	20–25	8	2	20–25
89,0	4; 8	1 1–2	45–50 30–35	8	1	45–50	8; 16	1–2 2	35–40 30–35	8	2	30–35
117,0	4; 8	1 1–2	70–75 60–65	8	1	30–35	8; 16	1–2 2	30–35 25–30	8; 16	1–2 2	30–35 25–30
139,0	4; 5	1 1–2	90–100 86–96	8	1	45–50	8; 16	1–2 2	45–50 40–45	8; 16	1–2 2	45–50 35–40
186,0	8; 16	1–2 2	65–75 30–35	8	1	65–75	8; 16	1–2 2	65–70 30–35	8; 16	1–2 2	65–75 35–40
278,0	8; 16	1–2 2	86–100 45–50	8; 16	1–2 2	86–100 45–50	16; 24	2 3	45-50 30–35	12; 16	2 3	65–75 40–45
415,0	16	2	65–75	16	1	65–75	24	3	45–50	16; 24	2 3	65–75 40–45
735,0	16	2	107–125	16	1	107–125	24; 48	3 4	65–75 45–50	24	2	45–50
1100,0	–	–	–	24	2	107–125	32; 48	3 4	85–100 65–75	–	–	–

© Бойко Е.А. *Выбор и расчет систем пылеприготовления и горелочных устройств котельных агрегатов*

Таблица 11

Скорости пылевоздушной смеси W_1 и вторичного воздуха W_2 на выходе пылегазовых горелок

Тип горелки	Тепловая мощность горелки $Q_г$, МВт	Вид сжигаемого топлива								
		Антрацитовый штыб, полуантрацит и тощий уголь			Каменный уголь			Бурый уголь		
		W_1, м/с	W_2, м/с	W_2/W_1	W_1, м/с	W_2, м/с	W_2/W_1	W_1, м/с	W_2, м/с	W_2/W_1
Вихревые двухулиточные	25	14–16	18–21	1,3–1,4	20–22	26–28	1,3–1,4	–	–	–
	35	14–16	18–21	1,3–1,4	22–24	28–30	1,3–1,4	–	–	–
	50	16–18	22–25	1,3–1,4	22–24	28–30	1,3–1,4	–	–	–
	75	18–20	26–30	1,4–1,5	24–25	30–34	1,4–1,5	–	–	–
	100	20–23	28–33	1,4–1,5	26–28	33–38	1,4–1,5	–	–	–
Вихревые улиточно-лопаточные	35	18–20	26–28	1,3–1,4	22–24	30–34	1,3–1,4	22–24	30–34	1,3–1,4
	50	18–20	25–28	1,3–1,4	22–24	30–34	1,3–1,4	22–24	30–34	1,3–1,4
	75	20–22	28–30	1,4–1,5	24–26	34–36	1,4–1,5	24–26	34–36	1,4–1,5
	100	20–22	30–32	1,4–1,5	26–28	36–38	1,4–1,5	26–28	36–38	1,4–1,5
	125	22–23	32–34	1,4–1,5	28–30	38–40	1,4–1,5	28–30	38–40	1,4–1,5
	150	23–25	33–36	1,4–1,5	30–32	40–42	1,4–1,5	30–32	40–42	1,4–1,5
Вихревые прямоточно–улиточные	25	14–16	17–19	1,2–1,3	18–20	22–25	1,2–1,3	18–20	22–25	1,2–1,3
	35	–	–	–	18–20	22–25	1,2–1,3	18–20	22–25	1,2–1,3
	25	18–20	28–30	1,5–1,6	24–26	36–42	1,5–1,6	24–26	36–42	1,5–1,6
	35	18–20	29–32	1,6–1,7	26–28	42–48	1,6–1,7	26–28	42–48	1,6–1,7
	50	20–22	34–37	1,6–1,7	28–30	48–50	1,6–1,7	28–30	48–50	1,6–1,7
Прямоточно-щелевые	25	26–28	30–34	1,2–1,3	27–29	42–45	1,5–1,6	27–29	42–45	1,5–1,6
	35	27–29	32–36	1,2–1,3	28–30	46–48	1,6–1,7	28–30	46–48	1,6–1,7
	50	28–30	36–38	1,3–1,5	29–31	48–50	1,6–1,7	29–31	48–50	1,6–1,7

© Бойко Е.А. *Выбор и расчет систем пылеприготовления и горелочных устройств котельных агрегатов*

Таблица 12

Параметры струй пылевоздушной смеси n_1 и вторичного воздуха n_2 для вихревых двухулиточных и улиточно-лопаточных горелок

Вид топлива и способ шлакоудаления		Параметры крутки	
		n_1	n_2
Антрацитовый штыб, полуантрациты, тощие угли при жидком шлакоудалении		3,5–4,0	4,0–4,5
Каменные и бурые угли	при жидком шлакоудалении	3,0–3,5	3,0–3,5
	при твердом шлакоудалении	2,0–3,0	2,5–3,0

Примечание: параметры крутки струй вторичного воздуха n_2 для вихревых прямоточно–улиточных и прямоточно–лопаточных горелок без рассекателя при сжигании каменных и бурых углей: при жидком шлакоудалении 3,5–4,0; при твердом шлакоудалении 3,0–3,5.

2.2. Расчет проходных сечений

2.2.1. Определение проходного сечения для первичной пылевоздушной смеси (F_1, м^2) при воздушной сушке топлива

Количество влажного сушильного агента в конце системы пылеприготовления, кг/кг

$$g_{\text{вл.са}} = g_1 \cdot (1 + 1,5 \cdot K_{\text{прис}}) + \Delta W, \tag{39}$$

где g_1 – количество сушильного агента, подаваемого в пылесистему, при воздушной сушке $g_1 = g_{\text{в}}$ (см. разд. 1.3.1); $K_{\text{прис}}$ – коэффициент, учитывающий присосы воздуха (см. там же); ΔW – количество влаги, испаренной в пылесистеме, кг/кг, (см. разд.1.3.1).

Расход первичной пылевоздушной смеси через одну горелку, м^3/с:

$$V_1 = \frac{B_{\text{р}}}{z_{\text{г}}} \cdot \left(\frac{g_{\text{в}} \cdot (1 + K_{\text{прис}})}{\rho_{\text{в}}} + \frac{\Delta W}{\rho_{\text{вп}}} \right) \cdot \frac{273 + t_2}{273}, \tag{40}$$

где $B_{\text{р}}$ – расход топлива на котел, кг/с; $z_{\text{г}}$ – количество установленных на котле горелок (см. разд. 2.1); $\rho_{\text{в}}$ = 1,285 кг/нм^3 – плотность воздуха; $\rho_{\text{вп}}$ = 0,804 кг/нм^3 – плотность водяных паров; t_2 – температура пылевоздушной смеси перед горелками, °С, принимается равной температуре за сушильно-мельничным устройством (см. разд. 1.3.1).

Проходное сечение канала первичной смеси, м^2:

$$F_1 = \frac{V_1}{W_1}, \tag{41}$$

где W_1 – рекомендуемая скорость в канале первичной смеси, м/с, (табл. 13).

2.2.2. Определение проходного сечения для первичной смеси (F_1, м^2) при газовоздушной сушке топлива

При газовоздушной сушке топлива, в схеме с прямым вдуванием при отсутствии пылеконцентраторов вся пылегазовоздушная смесь распределяется по горелкам. Причем в смеси уже содержится воздух, который нужно подать как первичный (с учетом коэффициента расхода α_1). Количество подаваемых газов $g_г$, кг/кг, и воздуха $g_в$, кг/кг, подсчитано ранее (раздел 1.3.3). Тогда количество влажной смеси газов, воздуха и водяных паров, кг/кг, определяется по выражению:

$$g_{вл..см} = (g_г + g_в)\cdot(1 + 1,5\cdot K_{прис}) + \Delta W\,. \qquad (42)$$

Расход первичной пылегазовоздушной смеси через одну горелку, м^3/с:

$$V_1 = \frac{B_р}{z_г}\cdot\left[\left(\frac{g_г}{\rho_г}+\frac{g_в}{\rho_в}\right)\cdot\left(1+1,5\cdot K_{прс}\right)+\frac{\Delta W}{\rho_{вп}}\right]\cdot\frac{273+t_2}{273}, \qquad (43)$$

где $\rho_г$ = 1,3 кг/нм^3 – плотность газов. Остальные обозначения те же, что и в разд. 2.2.1. Проходное сечение F_1, м^2, определяется как указано в разд. 2.2.1.

2.2.3. Определение проходного сечения для первичной смеси при газовой сушке топлива

При газовой сушке топлива, схеме с прямым вдуванием и отсутствии пылеконцентратора в горелки поступает, кроме сушильного агента (газа), из сушильно–мельничной системы еще и первичный воздух, кг/кг:

$$g_{в.\,перв} = V_в^0\cdot\alpha_1\cdot\rho_в\,, \qquad (44)$$

где α_1 – коэффициент расхода первичного воздуха (см. табл. 6); $V_в^0$ – теоретическое количество воздуха, необходимого для горения, нм^3/кг; $\rho_в$ = 1,285 кг/нм^3 плотность воздуха.

Количество первичной газовоздушной смеси, кг/кг:

$$g_1 = g_г + g_{в.\,перв}\,, \qquad (45)$$

где $g_г$ – количество газов, подаваемых в сушильно–мельничную систему, кг/кг, (см. разд. 1.3.2.).

Количество влажного газа на входе в горелки, кг/кг:

$$g_{вл.\,са} = g_г\cdot(1 + 1,5\cdot K_{прис}) + \Delta W + g_{в.\,перв}\,, \qquad (46)$$

Расход первичной пылегазовоздушной смеси, м^3/с

$$V_1 = \frac{B_р}{z_г} \cdot \left[\frac{g_г}{\rho_г} \cdot \left(1 + 1,5 \cdot K_{прис}\right) + \frac{\Delta W}{\rho_{вп}} + \frac{g_{в.\ перв}}{\rho_в} \right] \cdot \frac{273 + t_{см}}{273}. \qquad (47)$$

В формуле (47) те же обозначения, что и выше: количество газов после сушильного устройства $g_г$, кг/кг, их температура t_2, °С, их теплоемкость $c_г$, кДж/(кг·град) находятся по методике, изложенной в разделе 1.3.2.

Количество водяных паров после мельнично-сушильной системы ΔW, кг/кг, их температура t_2, °С, теплоемкость $c_{вп}$ = 1,9 кДж/(кг·град).

Количество подмешиваемого воздуха: $g_{в.\ перв.}$, кг/кг, его температура $t_в$, °С, принимается равной температуре на выходе из воздухоподогревателя $t_{гв}$; теплоемкость $c_в$, кДж/(кг·град) определяется по табл. 7.

$t_{см}$ – температура смеси перед горелкой, °С, определяется методом последовательного приближения с помощью следующего балансового уравнения:

$$t_{см} \cdot (g_г + g_{в.\ перв} + \Delta W) \cdot c_{см} = g_г \cdot c_г \cdot t_2 + g_{в.\ перв} \cdot c_в \cdot t_{гв} + \Delta W \cdot t_2 \cdot c_{вп}. \qquad (48)$$

Теплоемкость смеси $c_{см}$, кДж/(кг·град), в первом приближении принимается ориентировочно $c_{см}$ = $c_г$, а во всех последующих приближениях $c_{см}$ определяется по температуре $t_{см}$, °С, по рис. 1. Проходное сечение F_1, м^2, находят, как указано в разд. 2.2.1.

2.2.4. Определение проходного сечения горелки для вторичного воздуха

Коэффициент расхода вторичного воздуха

$$\alpha_{2.} = \alpha_г - \alpha_1, \qquad (48)$$

где $\alpha_г$ и α_1 – коэффициент избытка воздух перед горелкой и коэффициент расхода первичного воздуха (см. табл. 6).

Расход вторичного воздуха через горелку, м^3/с:

$$V_2 = \frac{V_в^0 \cdot \alpha_2 \cdot B_р}{z_г} \cdot \left(\frac{273 + t_{гв}}{273} \right), \qquad (49)$$

где $t_{гв}$ – температура воздуха за воздухоподогревателем, °С, (см. тепловой расчет котла).

Проходное сечение для канала вторичного воздуха, м^2:

$$F_2 = \frac{V_2}{W_2}, \qquad (50)$$

где W_2 – рекомендуемая скорость вторичного воздуха для данной горелки, м/с (см. табл. 11).

Примечание: при использовании разомкнутой схемы пылеприготовления весь сушильный агент с испарившейся влагой выбрасывается в атмосферу. В этом случае в горелку поступает чистый воздух, рассчитываемый по теоретически необходимому количеству воздуха $V_в^0$, избытку воздуха в горелке $\alpha_г$ и коэффициентам расхода первичного воздуха α_1 и вторичного α_2 (табл. 6).

При установке в системе пылеприготовления пылеконцентратора примерно на 70–75 % сушильного агента направляется в сбросные горелки, а 25–30 % – в основные горелки. Туда же подается первичный воздух, исходя по расчету из рекомендуемых коэффициентов расхода. Варианты с использованием пылеконцентратора в системе подготовки топлива в данных методических материалах не рассматриваются.

2.3. Расчет конструктивных размеров турбулентных горелок

Для улиточно-лопаточных горелок (турбулентных) с цилиндрическими насадками диаметры каналов (рис. 10) подсчитываются следующим образом.

Наружный диаметр центральной трубы, м:

$$D_0 = \sqrt{\frac{m^2}{1-m^2} \cdot \frac{4}{\pi} \cdot \left(F_1 + F_2\right)}. \qquad (51)$$

Значение коэффициента m выбирается в следующих пределах:

для каменных и бурых углей $0,3 \le m \le 0,4$;

для антрацитового штыба и тощих углей $0,35 \le m \le 0,45$.

Внутренний диаметр трубы пылевоздушной смеси, м:

$$d_1 = \sqrt{{D_0}^2 + \frac{4 \cdot F_1}{\pi}}. \qquad (52)$$

Толщина стенки трубы, предназначенной для подачи пылевоздушной смеси, S, м, обычно составляет S = 0,01 м.

Внутренний диаметр трубы вторичного воздуха, м:

$$d_2 = \sqrt{{D_1}^2 + \frac{4 \cdot F_2}{\pi}}. \qquad (53)$$

Наружный диаметр трубы вторичного воздуха, м:

$$D_2 = d_2 + 2 \cdot S. \tag{54}$$

Схема с обозначением диаметров сечений горелки представлена на рис. 10. Диаметр амбразуры $D_а = D_2$.

После определения конструктивных размеров вычерчивается схема горелки с указанием ее размеров.

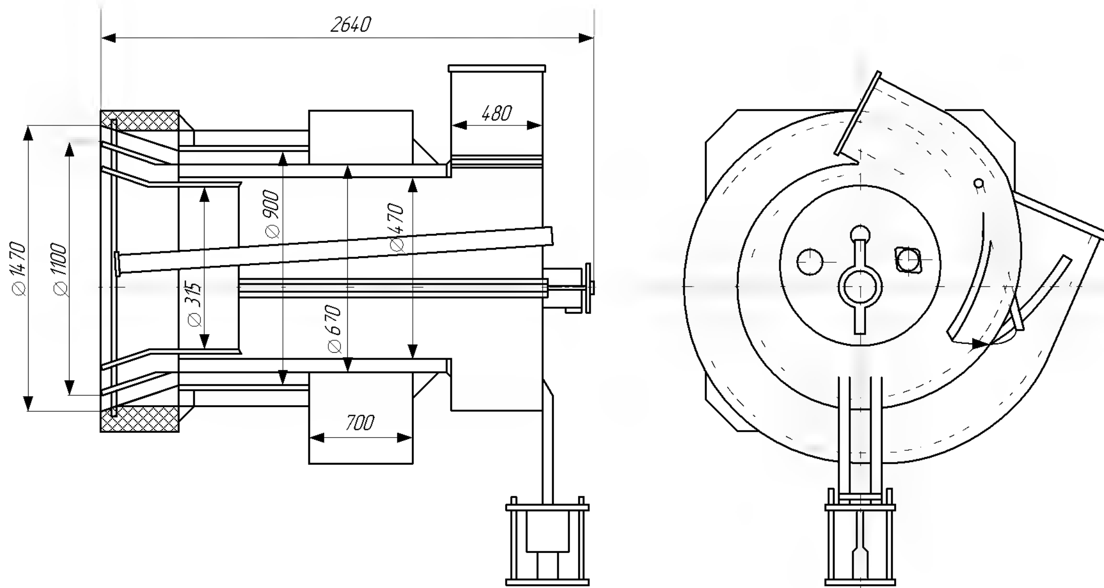


Рис. 8. Горелка турбулентная с закручиванием потоков первичной смеси и вторичного воздуха

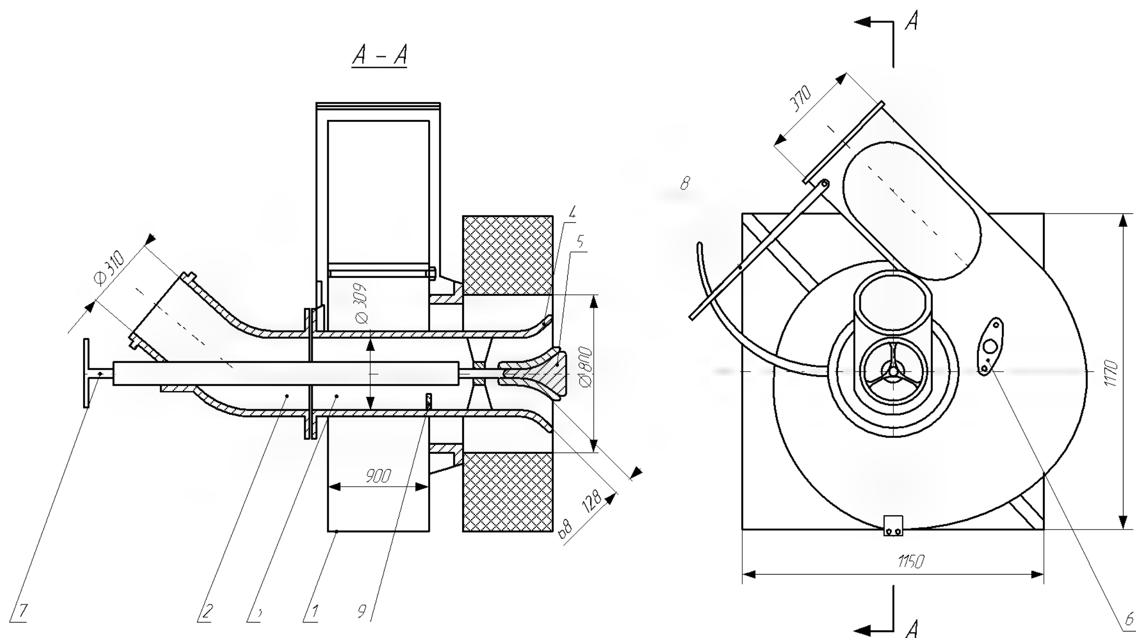


Рис. 9. Турбулентная горелка с закручиванием потока вторичного воздуха

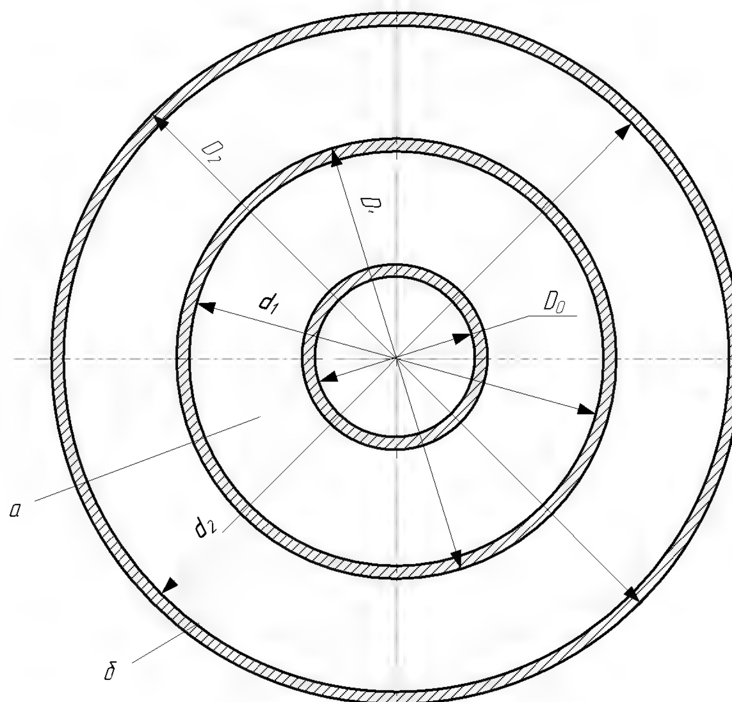


Рис. 10. Схема выходного сечения круглой вихревой (турбулентной) горелки: *а* – кольцевое сечение выхода первичной пылевоздушной смеси; *б* – кольцевое сечение выхода вторичного воздуха

2.4. Определение конструктивных размеров щелевых прямоточных горелок

В разд. 2.2 определены необходимые проходные сечения каналов для подачи первичной пылевоздушной смеси F_1, м^2, и вторичного воздуха F_2, м^2, для одной горелки.

Для расчета конструктивных размеров прямоточных горелок необходимо выбрать ее конструкцию, пользуясь рекомендациями, приведенными в разделе 2.1.

Расчет размеров прямоточно-щелевой горелки производится в зависимости от ее конструкции следующим образом.

1. Прямоточно-щелевая горелка с односторонней подачей пылевоздушной смеси (рис. 11).

Первичная смесь подводится по двум прямоугольным каналам с размером сторон $b_п$ и $h_к$. Тогда

$$F_1 = 2 \cdot b_п \cdot h_к . \quad (55)$$

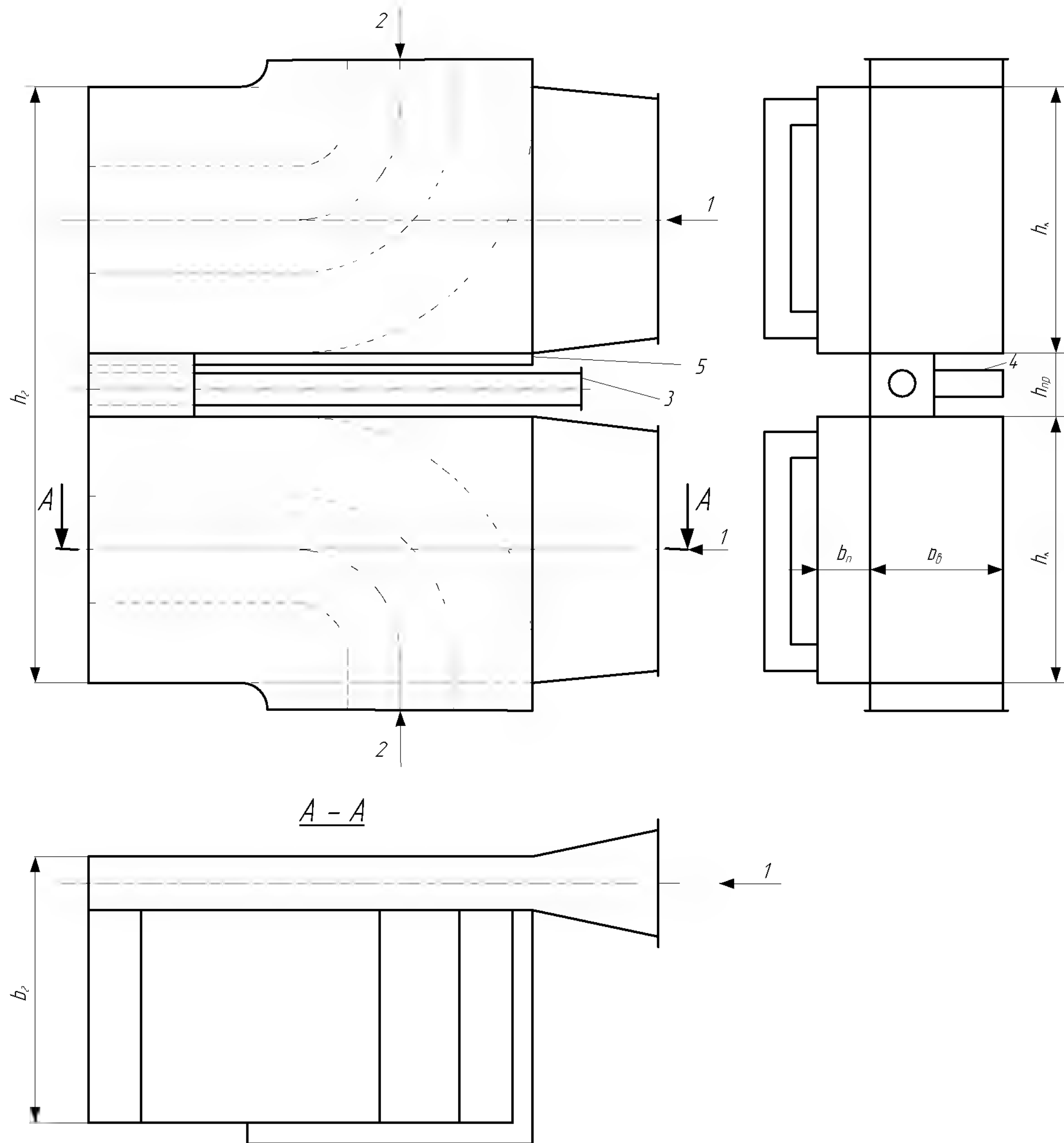


Рис. 11. Прямоточно-щелевая горелка с односторонней подачей пылевоздушной смеси: 1 – пылевоздушная смесь; 2 – вторичный воздух; 3 – мазут; 4 – запальное устройство; 5 – лючок гляделки

Вторичный воздух подается также по двум каналам с размером сторон $b_{в}$ и $h_{к}$. Тогда

$$F_2 = 2 \cdot b_{в} \cdot h_{к}. \qquad (56)$$

Рекомендуемое соотношение:

$$\frac{h_{к}}{b_{п}} = 4 - 6. \qquad (57)$$

Из представленных уравнений (55–57) находят три искомые величины: $b_п$, $h_к$ и $b_в$. При этом ширина амбразуры горелки находится как $B_а = b_п + b_в$.

Высота амбразуры принимается равной высоте горелки:

$$H_а = H_г = 2 \cdot h_к \cdot h_{пр}, \qquad (58)$$

где высота промежутка $h_{пр} = 0,5 \cdot B_а$.

2. Прямоточная щелевая горелка с центральной подачей пылевоздушной смеси (рис. 12).

В этой конструкции горелки подвод как первичной пылевоздушной смеси, так и вторичного воздуха производится по двум цилиндрическим каналам.

Диаметр канала для первичной пылевоздушной смеси, м:

$$d_1 = \sqrt{0,637 \cdot F_1}, \qquad (59)$$

и для вторичного воздуха

$$d_2 = \sqrt{0,637 \cdot F_2}, \qquad (60)$$

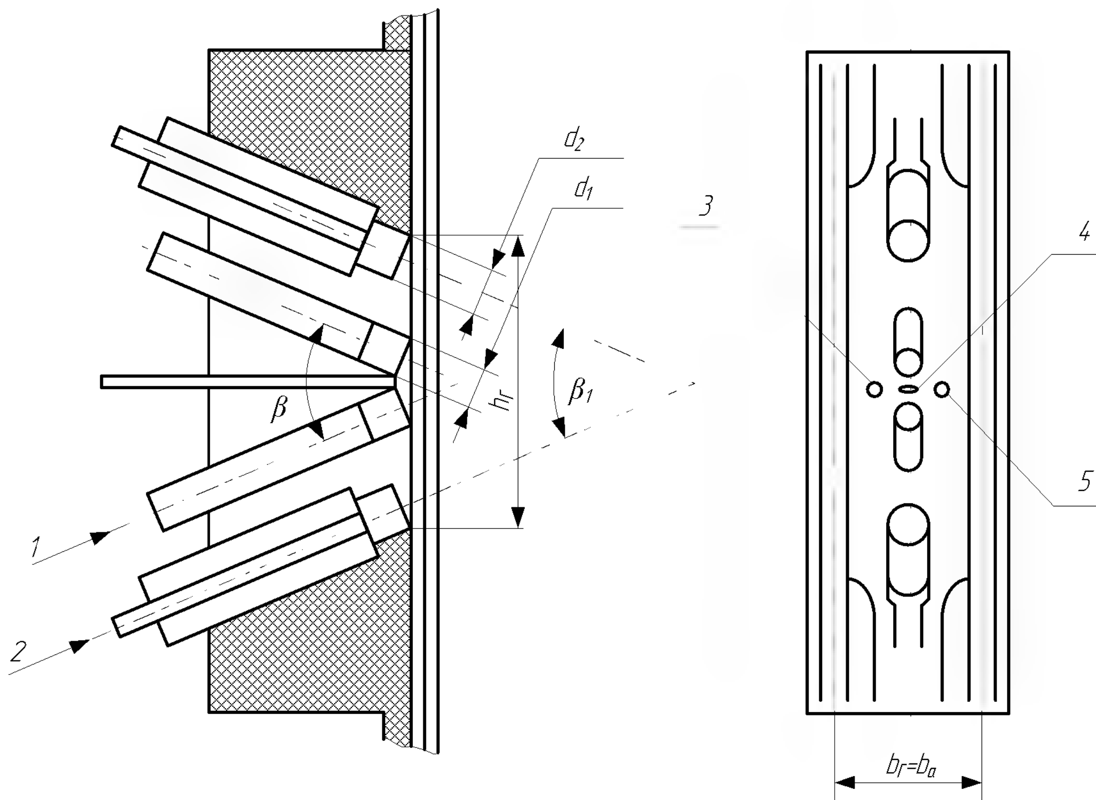


Рис. 12. Прямоточно-щелевая горелка с центральной подачей пылевоздушной смеси: 1 – пылевоздушная смесь; 2 – вторичный воздух; 3 – запальное устройство; 4 – мазут; 5 – лючок

Высота амбразуры выбирается по соотношению:

$$\frac{H_а}{B_а} = 3 - 5\,. \tag{61}$$

3. Горелка вертикально-щелевая с чередующейся подачей пылевоздушной смеси (рис. 13).

В горелке имеется четыре канала для прохода пылевоздушной смеси.

Проходное сечение одного канала, м^2:

$$f_1 = \frac{F_1}{4}. \tag{62}$$

Отношение высоты каждого канала к его ширине выбирается в пределах:

$$\frac{h_к}{b_к} = 1{,}5 - 2{,}5\,. \tag{63}$$

Величину проходного сечения, м^2, одного канала можно выразить формулой

$$f_1 = h_г \cdot b_г - F_1\,. \tag{64}$$

Рекомендуемое соотношение сторон канала:

$$\frac{h_г}{b_г} = 1{,}5 - 2{,}5\,. \tag{65}$$

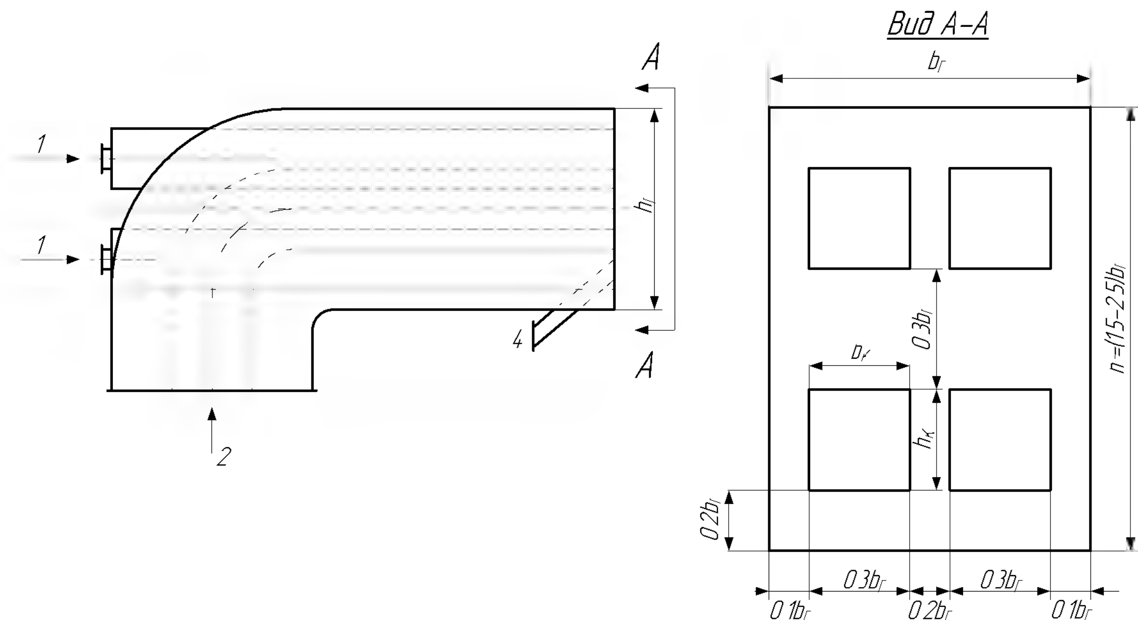


Рис. 13. Горелка прямоточная вертикально-щелевая с чередующейся подачей пылевоздушной смеси

Из последних двух соотношений можно найти значение $h_г$ и $b_г$.

Каналы первичного воздуха располагаются в канале вторичного воздуха симметрично. Расстояние от стенки канала, м, вторичного воздуха (см. рис. 13) до стенки канала первичного по горизонтали рассчитывается по следующему соотношению:

$$l = \frac{b_г - 2 \cdot b_к}{4}. \quad (66)$$

Расстояние от стенки канала вторичного воздуха до стенки первичного (см. рис. 13) по вертикали, м:

$$C = \frac{h_г - 2 \cdot h_к}{4}. \quad (67)$$

4. Горелка прямоточная горизонтально-щелевая с чередующейся подачей смеси (рис. 14).

В горелке по стрелке 1 подается первичная пылевоздушная смесь, по стрелке 2 – вторичный воздух. У данного типа горелочных устройств ширина горелки, м, равна ширине канала первичной пылевоздушной смеси:

$$b_г = b_к. \quad (68)$$

Рекомендуемое соотношение сторон горелочного устройства:

$$\frac{h_г}{b_г} = 3 - 4. \quad (69)$$

Проходное сечение для первичной пылевоздушной смеси (при пяти каналах первичной смеси):

$$F_1 = h_п \cdot b_г \cdot 5. \quad (70)$$

Пользуясь последними двумя уравнениями можно найти размеры $b_г$ и $h_п$.

Проходное сечение для вторичного воздуха, м^2:

$$F_2 = h_г \cdot b_г - F_1. \quad (71)$$

Отсюда определяется величина $h_г$, м. Высота одного канала (из четырех) для прохода вторичного воздуха, м:

$$h_в = \frac{h_г - 5 \cdot h_п}{4}. \quad (72)$$

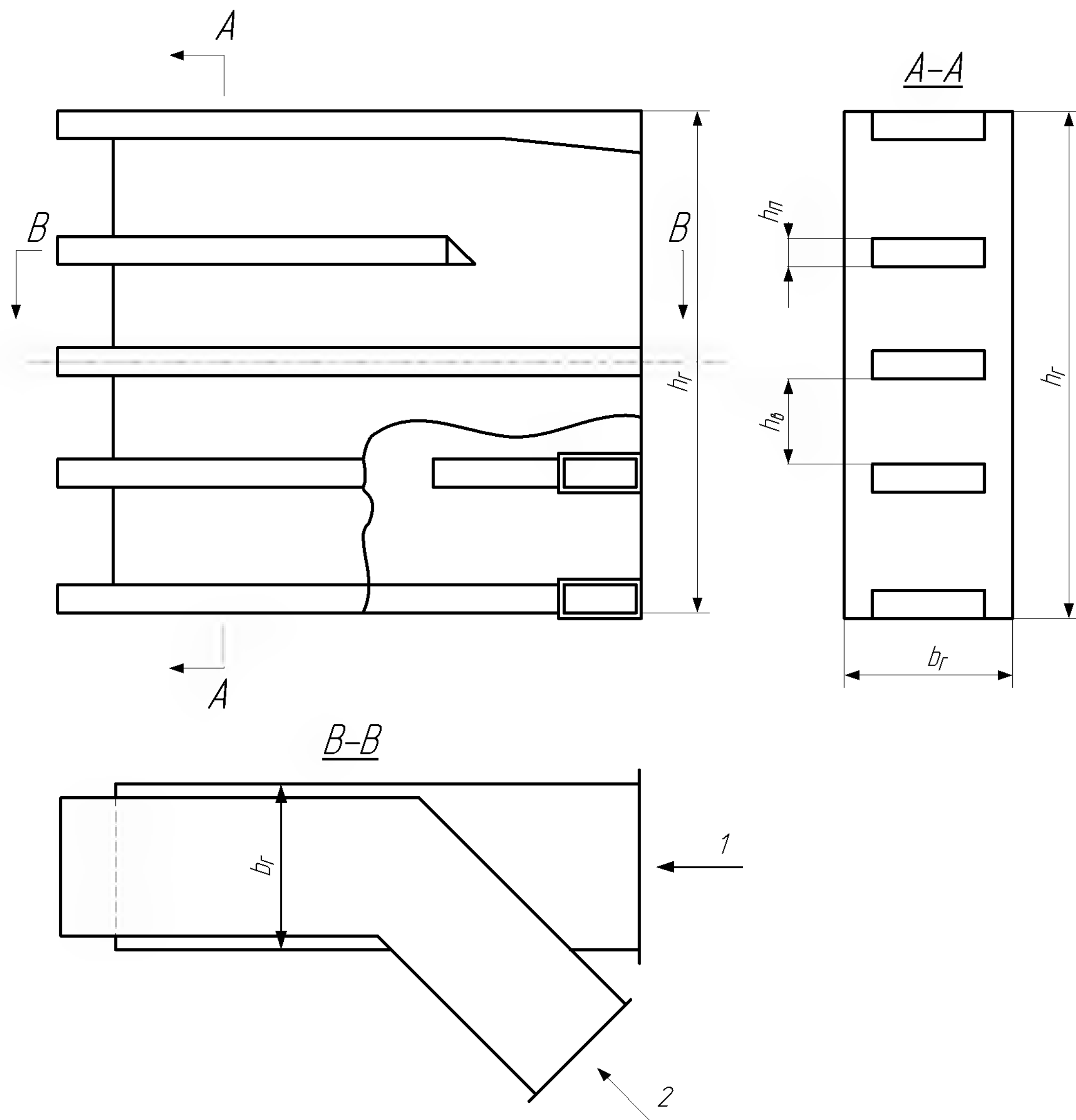


Рис. 14. Горелка прямоточная горизонтально-щелевая с чередующейся подачей пылевоздушной смеси

Таблица 15

Наименование величин и их условные обозначения
(по прямоточным щелевым горелкам)

Наименование величин	Обозначение
Глубина топки – расстояние между стенами, на котором установлены горелки при настенном расположении, или меньший размер между стенами при угловом расположении горелок, м	$a_т$
Ширина топки – размер стены, на которой установлены горелки при настенном расположении, или больший размер между стенами топки при угловом расположении горелок, м	$b_т$
Высота горелки – сумма высот сопел горелки и промежутков между ними при горизонтальном расположении сопел (рис. 3–7), м	$a_г$

Окончание таблицы 15

Наименование величин	Обозначение
Ширина горелки – сумма размеров сопел горелки и промежутков между ними по горизонтали между крайними стенами горелки (рис. 3–7), м	$b_г$
Высота сопел первичной пылевоздушной смеси (рис. 3–7), м	h_1
Высота сопла вторичного воздуха (рис. 3), м	h_2
Ширина сопла пылевоздушной смеси (рис. 5), м	b_1
Ширина сопла вторичного воздуха (рис. 5), м	b_2
Ширина амбразуры – ширина проема на внутренней стороне стены топки для установки горелок (рис. 5), м	$b_а$
Высота амбразуры – высота проема для установки горелки (рис. 5), м	$h_а$
Высота блока горелок (по вертикали, рис. 5), м	$H_{бп}$
Расстояние между осями амбразур горелок по вертикали между ярусами, (рис. 5), м	$h_{яр}$
Расстояние между кромками крайних сопел соседних горелок по вертикали (рис. 5), м	$h_{кр}$
Расстояние от нижней кромки амбразур грелок до начала ската холодной воронки или слабонаклонного пода (рис. 10, 12), м	$h_{ск}$
Расстояние по горизонтали между осями амбразур горелок (рис. 15, 16), м	$S_г$
Расстояние от осей амбразур крайних горелок до примыкающих стен (рис. 15, 16), м	$S_{ст}$
Горизонтальное сечение топки, м^2	$F_г$
Сечение амбразур горелки, м^2	$F_а$
Суммарное сечение сопел пылевоздушной смеси, м^2	F_1
Суммарное сечение сопел вторичного воздуха, м^2	F_2
Угол между осями сопел пылевоздушной смеси в вертикальной плоскости (рис. 7), рад (град)	β_1
Угол между осями сопел вторичного воздуха в вертикальной плоскости (рис. 7), рад (град)	β_2
Угол отклонения оси горелки от оси амбразуры в вертикальной плоскости (рис. 16), рад (град)	$\beta_г$
Угол отклонения оси горелки от оси амбразуры в горизонтальной плоскости (рис. 16), рад (град)	$\gamma_г$
Тепловая мощность топки, МВт (Гкал/ч)	$Q_{тг}$
Тепловая мощность горелки, МВт (Гкал/ч)	$Q_г$
Диаметр условной окружности, которой касаются оси всех горелок при тангенциальном расположении (рис. 10), м	$d_у$

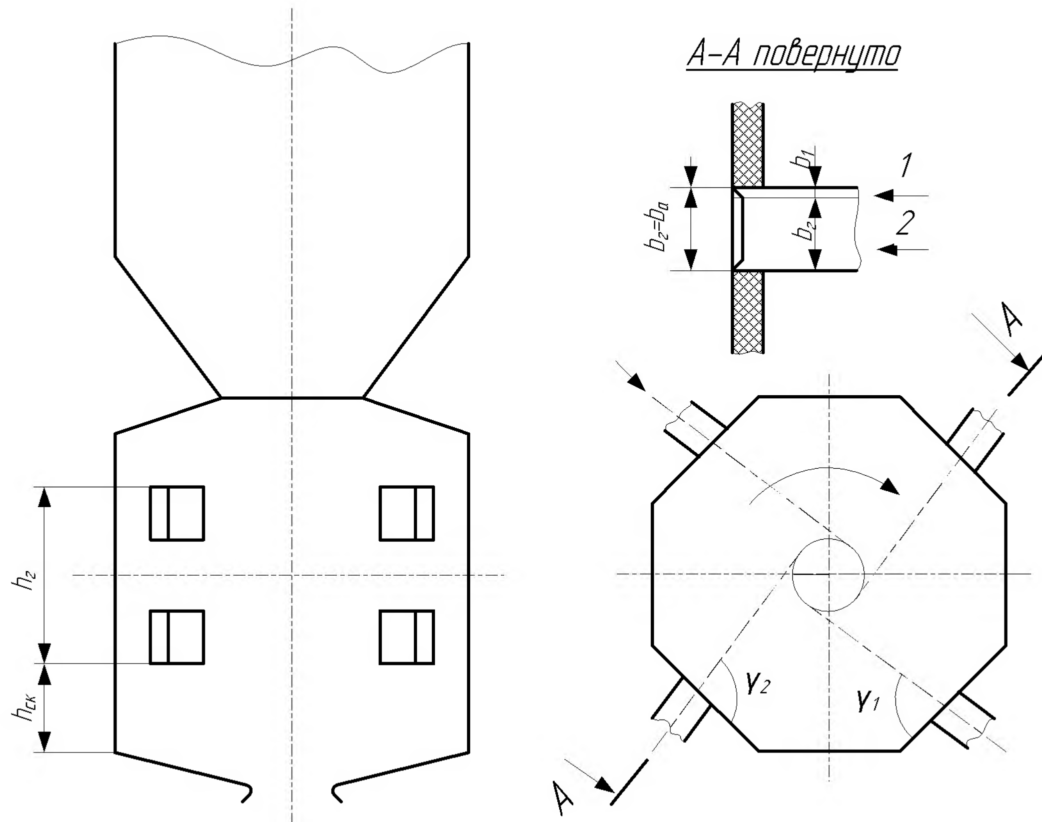


Рис. 15. Восьмигранная топка с жидким шлакоудалением

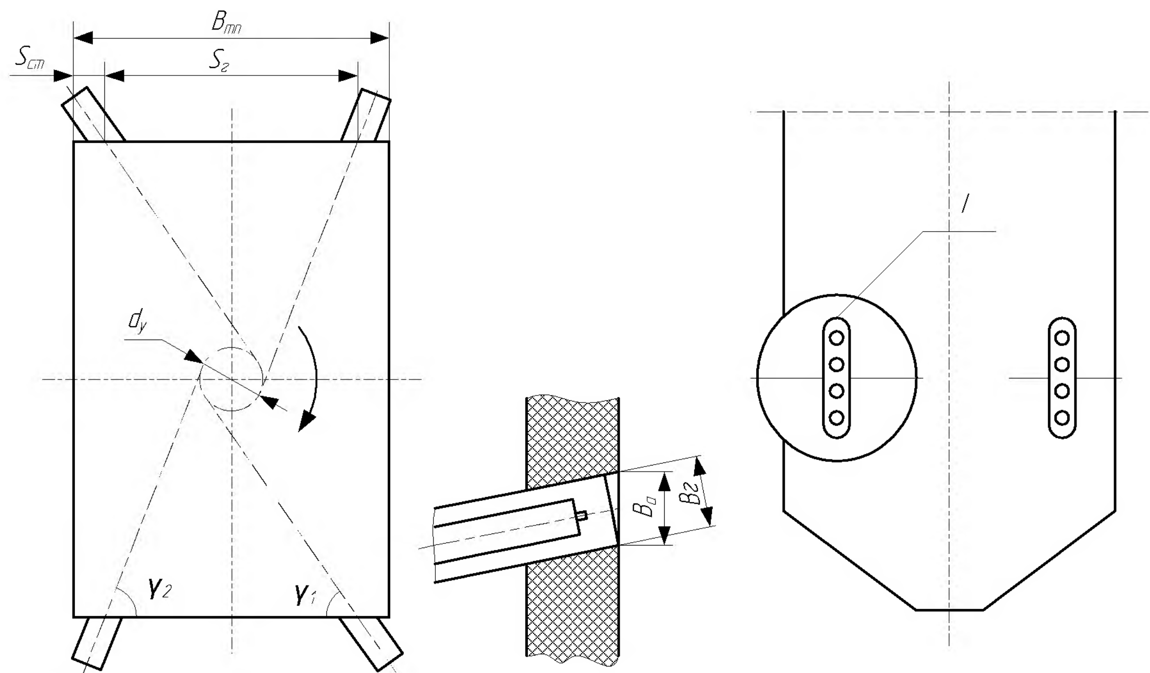


Рис. 16. Тангенциальное расположение плоскофакельных горелок в топке с жидким шлакоудалением прямоугольного сечения

© Бойко Е.А. *Выбор и расчет систем пылеприготовления и горелочных устройств котельных агрегатов*

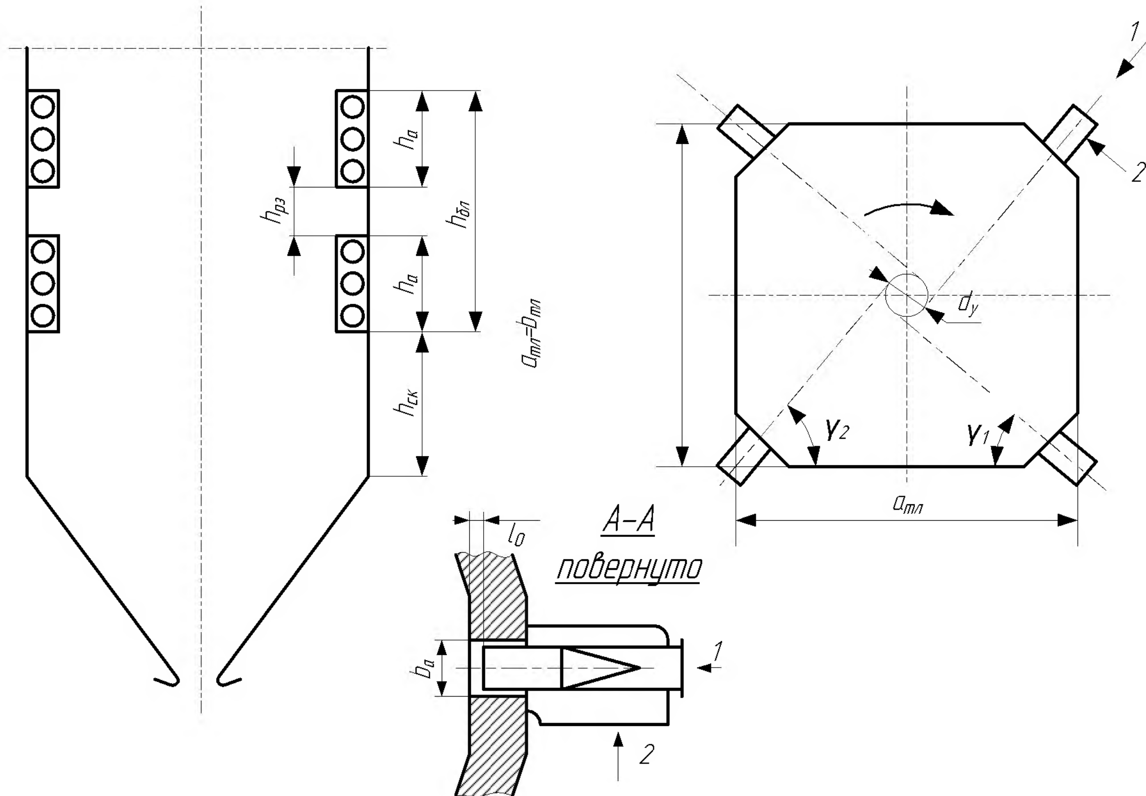


Рис. 17. Тангенциальное расположение горизонтально-щелевых горелок с чередующейся подачей пылевоздушной смеси в топке с твердым шлакоудалением

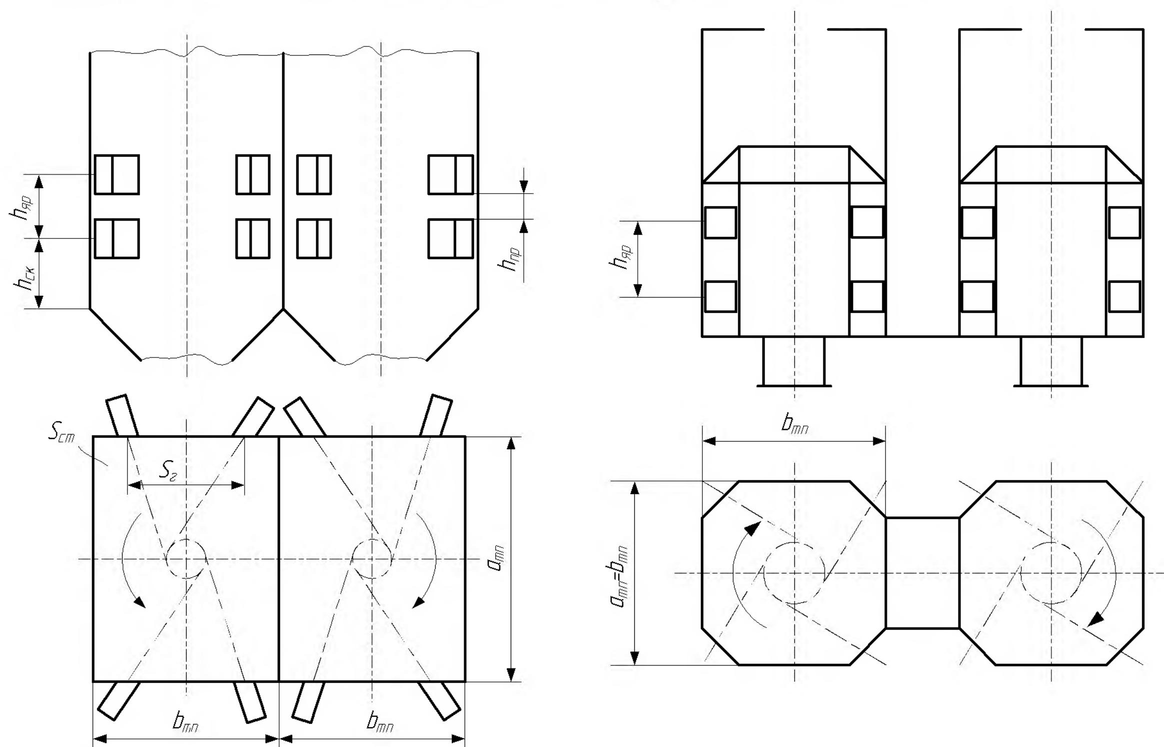


Рис. 18. Направление вращения в двувихревых топках

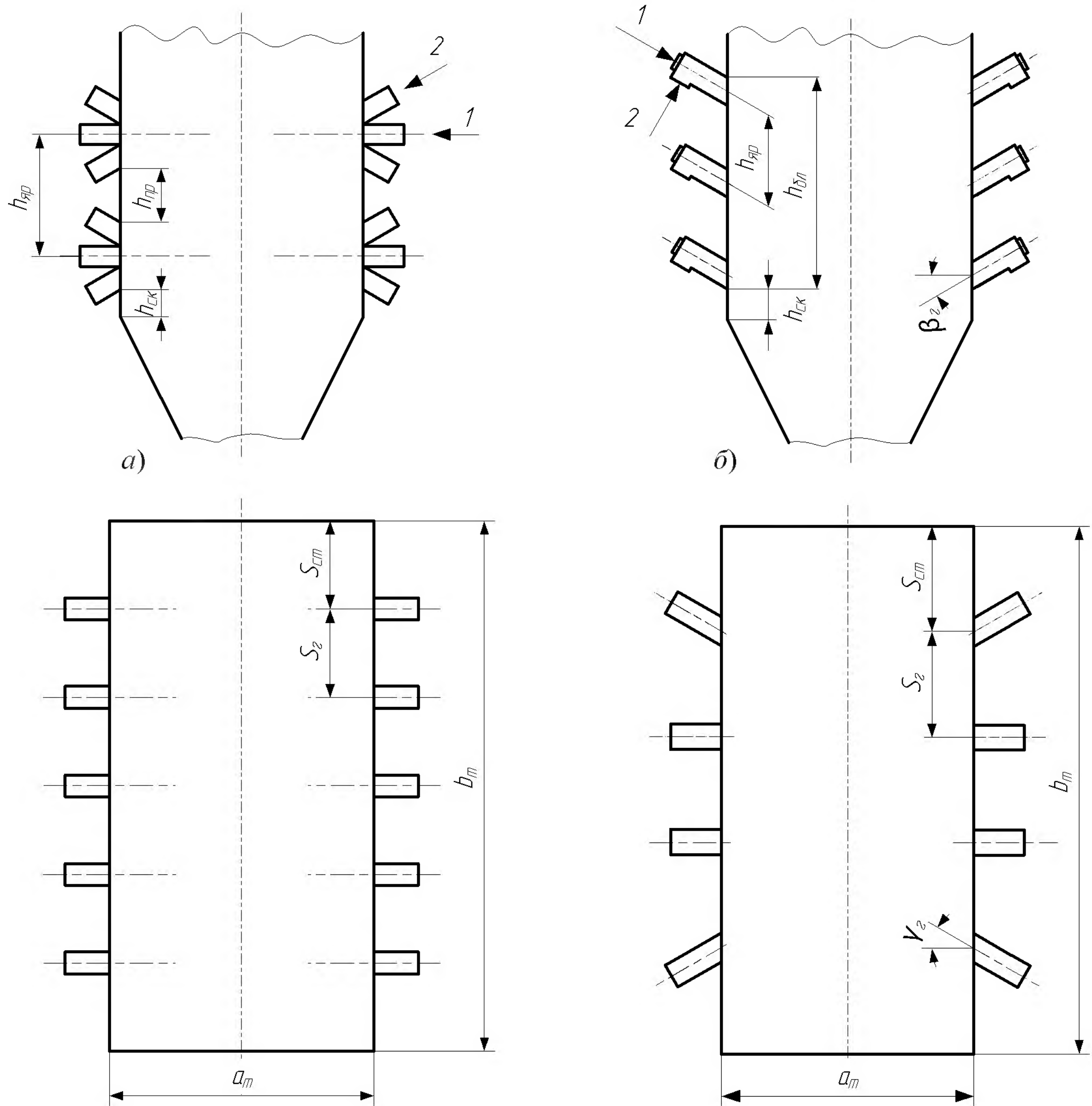


Рис. 19. Встречное расположение плоскофакельных горелок (*а*) и вертикально-щелевых горелок с чередующейся подачей пылевоздушной смеси (*б*) в топках с твердым шлакоудалением

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Левит, Г. Т. Пылеприготовление на тепловых электростанциях / Г. Т. Левит. М.: Энергоатомиздат, 1991. – 384 с.

2. Расчет и проектирование пылеприготовительных установок котельных агрегатов (нормативные материалы) / Под общ. ред. Н. В. Соколова и М. Л. Кисельгофа. Л.: НПО ЦКТИ-ВТИ, 1971. – 309 с.

3. Изюмов, М. А. Проектирование и расчет горелок / М. А. Изюмов, П. В. Росляков. М.: МЭИ, 1990. – 115 с.

4. Хзмалян, Д. М. Теория горения и топочные устройства / Д. М. Хзмалян, Я. А. Каган. М.: Энергия, 1976. – 487 с.

5. Бойко, Е. А. Котельные установки и парогенераторы. Тепловой расчет парового котла / Е. А. Бойко, И. С. Деринг, Т. И. Охорзина. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2005. – 96 с.

6. Бойко, Е. А. Котельные установки и парогенераторы (конструкционные характеристики котельных агрегатов) / Е. А. Бойко, Т. И. Охорзина. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2004. – 228 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3
1. Тепловой расчет сушильно-мельничной системы 5
  1.1. Выбор сушильного агента и его температуры 5
  1.2. Выбор размольного устройства и схемы пылеприготовления 8
  1.3. Тепловой баланс сушильно-мельничной системы 13
  1.4. Пересчет производительности углеразмольных мельниц на другое топливо . 23
2. Расчет горелочных устройств 27
  2.1. Выбор типоразмера горелочных устройств 27
  2.2. Расчет проходных сечений горелок 30
  2.3. Расчет конструктивных размеров турбулентных горелок 33
  2.4. Определение конструктивных размеров щелевых прямоточных горелок . . 35
Библиографический список 45